

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 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Отделение школы (НОЦ) автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|--|
| Система управления и её программная реализация для поворота протеза кисти |

УДК 681.51:004.4:615.477.21

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 8e41 | Елькин Сергей Вячеславович | | |

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Руководитель ВКР | Мамонова Татьяна Егоровна | К.Т.Н. | | |
| Руководитель ООП | Мамонова Татьяна Егоровна | К.Т.Н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП ТПУ | Петухов Олег Николаевич | К.Э.Н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|------------------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент ОКД | Авдеева Ирина Ивановна | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель отделения | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Руководитель ОАР | Леонов Сергей Владимирович | К.Т.Н. | | |

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) |
|--|--|
| <i>Профессиональные компетенции</i> | |
| P1 | Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления |
| P2 | Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем |
| P3 | Применять полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств |
| P4 | Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем |
| P5 | Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы |
| <i>Универсальные компетенции</i> | |
| P6 | Интегрировать знания в области анализа, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем со знаниями из смежных областей |
| P7 | Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах. |
| P8 | Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды |
| P9 | Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий |
| P10 | Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду. |
| P11 | Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности |
| P12 | 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): 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Отделение школы (НОЦ): автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|----------------------------|
| 8e41 | Елькин Сергей Вячеславович |

Тема работы:

Система управления и её программная реализация для поворота кисти протеза

Утверждена приказом директора (дата, номер)

2126/с от 27.03.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

11.06.2018

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Объектом исследования и проектирования является узел для поворота прототипа протеза кисти, который располагается между рабочим органом и культприемной гильзой. Узел должен обеспечивать момент для удерживания груза массой 1 кг, закрепленного на рукоятке длиной 18 см. Поворот функционирующей кисти осуществляется на 180° относительно крайних положений (ладонью вверх, ладонью вниз). Масса устройства не должна превышать 100 гр. Габаритные размеры . Время бесперебойной работы узла – 12 часов.

| | |
|--|--|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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>Исследовать техническую документацию к известным аналогам, выявить технические характеристики и принцип работы узлов.</p> <p>Обозначить задачи исследования, а именно: осуществить выбор варианта исполнения узла для поворота протеза кисти; провести анализ возможных технических решений и выбрать самый приемлемый; рассчитать необходимые характеристики для выбора аппаратной части устройства; провести моделирование для выявления характеристик узла и пригодности к использованию; разработать программное обеспечение для управления устройством.</p> <p>Оценить качество и достоверность результатов выполненной работы, выявить возможные улучшения, которые могут быть выполнены в дальнейшем исследовании.</p> |
| <p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <p>Схема расчета момента, эквивалентная схема ДПТ, функциональная схема устройства, структурная схема двигателя, структурная схема устройства, структурная схема устройства в MATLAB, блок-схема алгоритма,</p> |
| <p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p> | |
| <p>Раздел</p> | <p>Консультант</p> |
| <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, и ресурсосбережение</p> | <p>Петухов Олег Николаевич</p> |
| <p>Социальная ответственность</p> | <p>Авдеева Ирина Ивановна</p> |
| <p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> | |
| <p>нет</p> | |
| <p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p> | <p>28.04.2018</p> |

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР | Мамонова Татьяна Егоровна | к.т.н | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 8е41 | Елькин Сергей Вячеславович | | |

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) 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Уровень образования бакалавриат
Отделение школы (НОЦ) автоматизации и робототехники
Период выполнения (весенний семестр 2017/2018 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: | 11.06.2018 |
|--|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 11.06.2018 | Основная часть | 60 |
| 21.05.2018 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 20 |
| 24.05.2018 | Социальная ответственность | 20 |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР | Мамонова Татьяна Егоровна | к.т.н | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР | Мамонова Татьяна Егоровна | к.т.н | | |

Реферат

Пояснительная записка содержит 68 страниц машинописного текста, 22 таблиц, 11 рисунков, 1 список использованных источников из 24 наименований.

Цель работы: разработка аппаратной и программной частей узла вращения прототипа протеза кисти, построение математической модели, синтез САР с использованием микроконтроллера.

В данной работе был разработан узел для поворота прототипа протеза кисти, была получена математическая модель устройства, выполнено моделирование переходных процессов в пакете прикладных программ MATLAB Simulink для анализа САР, настроен ПИ-регулятор. (Дописать)

Разработанное устройство позволит улучшить существующий прототип протеза кисти, увеличив его функционал, а также повысить удобство использования пациентами.

Ключевые слова: протез кисти, бионический протез, система автоматического регулирования, сервопривод, математическая модель.

Определения, обозначения, сокращения

Протез – приспособление, изготовленное в форме какой-нибудь части тела для замены утраченной природной;

Бионика – раздел кибернетики, изучающий строение и жизнедеятельность организмов для решения инженерно-технических задач;

Бионический протез – протез, который управляется при помощи сигналов живого тела: миограмма, энцефалограмма;

Ампутация – удаление оперативным путем больной конечности, наружной части органа;

Фантомная конечность – субъективное ощущение существования конечности после её ампутации;

EQD – Electrical Quick Disconnect – быстрорасчлняемый соединитель – электрический соединитель с врубным самозапирающимся и байонетным сочленением частей соединителя;

Врубное сочленение – сочленение частей электрического соединителя без фиксации сочлененного положения замковым устройством;

Байонетное сочленение – быстро выполняемое соединение деталей посредством осевого перемещения и поворота (иногда бокового смещения) одной из них относительно другой;

Микропроцессор – программное управляемое устройство для обработки информации, выполненное на больших интегральных схемах и применяемое в компьютерах и в автоматизированных механизмах;

Суфинация – вращение конечности или её части наружу. Например, **суфинация** запястья – его поворот до положения ладонью вверх;

Пронация – вращение конечности или её части вовнутрь. Например, **пронация** запястья – его поворот до положения ладонью вниз;

ДПТ – двигатель постоянного тока;

ШД – шаговый двигатель;

ВД – вентильный двигатель;

Серводвигатель – механический привод с автоматической коррекцией состояния через внутреннюю отрицательную обратную связь, в соответствии с параметрами, заданными извне;

КЗ – короткое замыкание;

Вращающий момент – векторная физическая величина, равная векторному произведению вектора силы и радиус-вектора, проведенного от оси вращения к точке приложения силы;

Электромиографические датчики – датчики, регистрирующие биоэлектрические потенциалы, возникающие в мышцах при их возбуждении;

ЭДС – электро-движущая сила;

Нормативные ссылки

1. СанПин 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»;

2. СНиП П-12-77 «Защита от шума»;

3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения»;

4. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;

5. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током»;

6. ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»;

7. ГОСТ 12.2.032 «Рабочее место при выполнении работ сидя»;

8. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»;

9. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»;

10. ГОСТ 12.2.033-78 «Рабочее место при выполнении работ стоя»;

11. ГОСТ 12.2.061-81 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам»;

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение | 12 |
| 1 Разработка системы управления для поворота протеза кисти | 14 |
| 1.1 Обзор аналогов устройства..... | 14 |
| 1.1.1 BeBionic 3 | 14 |
| 1.1.2 I-limb ultra | 16 |
| 1.1.3 Otto bock Michelangelo | 17 |
| 1.2 Постановка задачи..... | 18 |
| 1.3 Выбор конструкции устройства вращения протеза кисти | 19 |
| 1.4 Подбор компонентов..... | 21 |
| 1.5 Математическое моделирование системы управления поворотом протеза кисти..... | 23 |
| 1.6 Программная реализация устройства для поворота кисти протеза | 29 |
| 2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 35 |
| 2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | 35 |
| 2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования..... | 35 |
| 2.1.2 Анализ конкурентных технических решений..... | 35 |
| 2.1.3 Технология QuaD | 36 |
| 2.1.4 SWOT – анализ | 38 |
| 2.1.5 Морфологический анализ | 39 |
| 2.2. Планирование научно-исследовательских работ | 39 |
| 2.2.1. Структура работ в рамках научного исследования | 39 |
| 2.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ..... | 41 |
| 2.2.3 Разработка графика проведения научного исследования | 43 |
| 2.2.4 Бюджет научно-технического исследования | 45 |
| 2.2.5 Расчет материальных затрат | 45 |
| 2.2.6 Основная заработная плата исполнителям темы..... | 46 |
| 2.2.7 Дополнительная заработная плата | 47 |
| 2.2.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)..... | 48 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.9 Накладные расходы..... | 49 |
| 2.2.10. Контрагентные расходы..... | 49 |
| 2.2.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта | 49 |
| 2.2.12 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности ресурсов..... | 50 |
| 3 Социальная ответственность | 53 |
| 3.1 Производственная безопасность | 53 |
| 3.1.1 Микроклимат | 54 |
| 3.1.2 Шум..... | 54 |
| 3.1.3 Психофизические факторы | 55 |
| 3.1.4 Освещение | 56 |
| 3.1.5 Электробезопасность | 58 |
| 3.1.6 Термическая опасность | 60 |
| 3.1.7 Экологическая безопасность | 60 |
| 3.1.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 61 |
| 3.1.9 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 62 |
| 3.2 Вывод по разделу «Социальная ответственность»..... | 63 |
| Заключение | 64 |
| Список литературы..... | 65 |

Введение

Протезирование – это замена утраченных частей тела искусственными заменителями – протезами. Протезирование представляет собой важный этап процесса социально-трудовой реабилитации человека, утратившего конечности, или страдающего заболеваниями опорно-двигательного аппарата [1].

В настоящее время развитие электроники и программных средств помогает реализовывать все более совершенные системы взаимодействия человека и машины. Одним из наиболее перспективных способов взаимодействия является бионическое управление. Бионика – это прикладная наука о применении в технических устройствах и системах принципов организации, свойств, функций и структур живой природы, то есть формы живого в природе и их промышленные аналоги. Проще говоря, бионика – это соединение биологии и техники.

По данным федеральной службы государственной статистики количество инвалидов на первое января 2017 года составляет 12259 тысяч человек, в том числе [2]:

1 группы – 1309 тысяч человек;

2 группы – 5290 тысяч человек;

3 группы – 4394 тысяч человек;

Дети-инвалиды – 636 тысяч человек;

Одной из причин инвалидности является ампутация нижних или верхних конечностей вследствие травмы, несоблюдения техники безопасности или неосторожности на рабочем месте, болезни (диабет). Среди пациентов с ампутациями, лица с ампутациями нижних конечностей составляют 92 %, в то время как лица с ампутацией верхних конечностей составляют 8 % в России. Но если нижние конечности можно заменить простейшими протезами, такими как костыли, то с протезами верхних конечностей нельзя обойтись также по-простому. Большую часть всего труда человек совершает при помощи рук. Согласно статистике, 40 % инвалидов

пользуются протезами более 12 часов в сутки, что говорит о необходимости расширения рынка и функционала существующих моделей [3]. По назначению протезы делятся на косметические и функциональные. Косметические протезы предназначены для восстановления внешнего вида руки, в то время как функциональные протезы предназначены для выполнения различных видов труда, что возможно, благодаря наличию специальных насадок для инструментов, выполнению хвата. Сегодня в качестве функциональных широко применяют бионические протезы. В отличие от тяговых, где управление протезом происходит непосредственно усилиями пациента, бионические протезы, с помощью миоэлектрических датчиков, распознают сокращение уцелевших мышц, которые являются задающим сигналом для выполнения одной или нескольких функций протеза. Данный вид протеза удобен в том, что человек может легко адаптироваться к его использованию с помощью эффекта фантомной конечности.

1 Разработка системы управления для поворота протеза кисти.

1.1 Обзор аналогов устройства

Сегодня на рынке бионических протезов имеется множество уникальных моделей, которые обладают разным функционалом. В данной работе я рассмотрел некоторые из них.

1.1.1 BeBionic 3

Данная модель разработана британской компанией RSLSteeper в 2012 году. Протез оснащен индивидуальным двигателем на каждый палец, что позволяет перемещать руку и захватывать предметы естественным, скоординированным способом. Двигатели позиционируются для оптимизации распределения веса, что делает руку более легкой и удобной. Мощные микропроцессоры обеспечивают точное управление протезом, отслеживая положения каждого пальца. Также, протез имеет 14 запрограммированных захватов, которые позволяют выполнять самые различные задачи, например, захват и удерживание яйца. Модель имеет грузоподъемность до 45 килограммов.

Запястье выполнено по технологии EQD (Electrical quick disconnect): в основании кисти расположены зубцы, которые закрепляют кисть, состыковываясь с зубцами в гильзе при осевом смещении кисти относительно гильзы (байонетное сочленение); отверстие в основании предназначено для штекера, который передает управляющие сигналы от микроконтроллера, расположенного в гильзе (врубное сочленение); по окружности располагаются подшипники, обеспечивающие вращение кисти [4].



Рисунок 1 – Кисть протеза VeBionic 3 с технологией EQD

В таблице 1 приведены технические характеристики данного протеза [5]:

Таблица 1 – Технические характеристики бионического протеза VeBionic 3

| Технические характеристики кисти VeBionic 3 | Кисть среднего размера | Кисть большого размера |
|--|------------------------|------------------------|
| Максимальная сила захвата всеми пальцами, Н; | 140.1 | 140.1 |
| Максимальная сила захвата тремя пальцами, Н; | 36.6 | 36.6 |
| Максимальная сила захвата большим и указательным пальцами, Н; | 26.5 | 26.5 |
| Максимальное время раскрытия или закрытия – Захват тремя пальцами, сек; | 0.5 | 0.5 |
| Максимальное время раскрытия или закрытия – Захват всеми пальцами, сек; | 1 | 1 |
| Максимальное время раскрытия или закрытия – Захват большим и указательным пальцами, сек; | 1 | 1 |
| Максимальная статическая нагрузка – захват «крюком», кг; | 45 | 45 |

| | | |
|---|----|----|
| Максимальная нагрузка на каждый палец – Захват «крюком», кг; | 25 | 25 |
| Максимальное растяжение на кончиках пальцев, кг; | 6 | 6 |
| Максимальная допустимая вертикальная нагрузка через костяшки пальцев, кг; | 90 | 90 |

Цена такого протеза составляет от \$25 000 до \$35 000 [6].

1.1.2 I-limb ultra

Британская компания Touch Bionics в 2014 году выпустили новую линейку своих протезов i-limb. Одной из моделей данной линейки является мульти-артикулирующий протез с пятью автономными пальцами, с ручным переключением i-limb ultra. Модель позволяет владельцу с легкостью складывать вещи, заполнять таблетницу, завязывать шнурки; оснащена автозахватом для предотвращения падения предметов. Управление протезом осуществляется при помощи миоэлектрических датчиков, а также при помощи смартфона, где запрограммированы 14 различных захватов. Вращение кисти реализовано по технологии EQD, описанной выше. В таблице 2 представлены технические характеристики данного протеза [7]:

Таблица 2 – Технические характеристики протеза i-limb ultra

| Техническая информация(исправить) | |
|---|---|
| Номинальное напряжение питания, В; | 4.7 |
| Максимальный ток, А; | 5 |
| Емкость батареи, мА/ч; (перезаряжаемый литий-полимерный аккумулятор) | 2000, 1300 |
| Максимальная нагрузка руки (статическая нагрузка), кг; | 40 кг (extra small) 90 кг (small/medium/large) |

| | |
|--|---|
| Грузоподъемность пальца (статическая нагрузка), кг; | 20 кг (extra small) 32 кг (small/medium/large) |
| Время полного сжатия с положения «открытая ладонь», сек; | 0.8 |

В таблице указаны размеры протезов (extra small, small, medium, large), которые пояснены более точно на рисунке 2.

Цена данного протеза может составлять от \$70 000 до \$110 000 в зависимости от функциональности, эстетики и материалов [8].



Рисунок 2 – Размеры протезов i-Limb ultra

1.1.3 Otto bock Michelangelo

Немецкая компания Otto bock предоставила на рынок передовой протез Michelangelo, разработанный с применением технологии AxonRotation, что позволяет при помощи миоэлектрических сигналов совершать повороты запястьем. В протезе имеется подвижный лучезапястный шарнир, с помощью которого пациент может сгибать и разгибать кисть в вертикальной плоскости. Данный протез стоит около 2-2.5 миллиона рублей, а срок службы – 3 года [9]. Причем, перчатку следует менять раз в полгода, что увеличивает расходы. Протез имеет семь различных положений кисти, осуществляется активное управление большим, указательным и средним пальцами, а безымянный и

мизинец выполняют пассивные движения. Технические характеристики представлены в таблице 3 [10]:

Таблица 3 – Технические характеристики протеза Otto bock Michelangelo

| Технические характеристики | |
|--|------------|
| Рабочее напряжение, В; | 11.1 |
| Ширина раскрытия, мм; | Около 120 |
| Скорость раскрытия, мм/с; | Около 325 |
| Усилие захвата (встречный захват), Н; | Около 70 |
| Усилие захвата (боковой захват), Н; | Около 60 |
| Усилие захвата (нейтральное положение), Н; | Около 15 |
| Супинация (вращение вовнутрь), град; | 160 |
| Пронация (вращение наружу), град; | 160 |
| Емкость аккумулятора, мА/ч; | Прим. 1500 |

1.2 Постановка задачи

Представленные аналоги обладают большим функционалом, однако, стоимость приобретения данных протезов достаточно высока. Люди с ампутациями верхних конечностей нуждаются в протезировании хотя бы для восстановления самостоятельности в быту: открыть ручку двери, взять ложку, брать различные предметы. Однако, как правило, люди с инвалидностью подобного характера не работают и живут на пособие по инвалидности. Поэтому становится затруднительно приобрести данные протезы. Государственные программы существуют, но число пациентов слишком велико.

Целью моей выпускной квалификационной работы является разработка системы управления и ее программной реализации для поворота прототипа протеза кисти. Данное устройство позволит расширить функционал существующего протеза, область применения, а также удобство его использования.

Передо мною возникли следующие задачи, которые я должен выполнить в процессе разработки:

1. Осуществить выбор конструкции узла;
2. Подобрать компоненты;
3. Провести математическое моделирование для выявления пригодности применения узла;
4. Разработать алгоритм работы устройства.

1.3 Выбор конструкции устройства вращения протеза кисти

Узел вращения прототипа протеза кисти должен выполнять функцию поворота рабочего органа, относительно уцелевшей руки пациента. По техническому заданию, устройство совершает супинаторное и пронаторное движения, значит, что угол поворота кисти протеза из одного крайнего положения в другое осуществляется на 180° , что соответствует живой конечности. Для того, чтобы пациент смог удерживать какие-либо предметы в протезе, например, кружка чая, требуется возможность фиксации ротора.

Узел может быть выполнен различными способами. Для ограничения угла может быть использован рычаг с ограничителями. Форма рычага может быть разной формы, которая зависит от требуемой точности. Также, ограничение может быть выполнено при помощи редуктора, на одной из шестерней которого будет находиться ограничитель движения. Такой способ используется в серводвигателях. В моем случае лучшим выбором будет последнее исполнение, так как одним редуктором можно и ограничить угол, и создать большой момент для удерживания положения ротора.

Следующим шагом стал выбор двигателя. Электродвигатель – основа узла. Серводвигатель может быть исполнен на различных электродвигателях. На выбор были предоставлены следующие известные двигатели:

1. Двигатель постоянного тока (ДПТ). ДПТ самый популярный двигатель, используемый в разных устройствах, начиная с игрушек и заканчивая исполнительными устройствами на производстве. Он обладает

жесткой механической характеристикой: обороты идеального холостого хода зависят от потока и от напряжения, а если поток постоянный (используется в качестве статора постоянный магнит), то только от напряжения. Одним из главных плюсов двигателя является то, что зависимость момента на валу прямо зависит от тока, то есть, при неизменном потоке возбуждения замеряя ток можно легко определить величину момента. Описанные выше положительные стороны ДПТ могут привести к выводу, что он прост в управлении, в отличии от двигателей переменного тока. Однако, данный вид двигателя имеет и минусы: влияние на питающую сеть вынуждает устанавливать дополнительные преобразователи; наличие графитовых щеток снижает срок службы двигателя; требуется дополнительное устройство для торможения и фиксации ротора в заданном положении, иначе протез будет проворачиваться под внешним моментом, а самый основной для моего проекта – высокая себестоимость [11].

2. Шаговый двигатель (ШД). ШД – это синхронная машина, которая преобразует входной управляющий сигнал в угловое перемещение ротора с фиксацией его заданного положения без дополнительных устройств обратной связи. Положительные стороны использования ШД в моем проекте: для фиксации ротора не требуется дополнительное фиксирующее устройство, простота управления, невысокая стоимость, долгий срок эксплуатации. Но ШД обладает низкой эффективностью (мотор поглощает много энергии независимо от нагрузки), крутящий момент обратно пропорционален скорости вращения, высокий нагрев двигателя в процессе работы, шумный [12].

3. Вентильный двигатель (ВД). ВД – синхронный двигатель, у которого вектор магнитного поля статора управляется в зависимости от положения ротора. ВД также называют бесколлекторными ДПТ. Принцип работы заключается в том, что контроллер коммутирует обмотки статора, чтобы магнитное поле статора было ортогонально магнитному полю ротора. Коммутация обмоток производится посредством транзисторного коммутатора, управляемого контроллером. Механические характеристики, в

большинстве случаев, совпадают с характеристиками ДПТ. Достоинствами ВД можно отметить высокое быстродействие и динамика, бесколлекторность, высокие энергетические показатели (КПД более 90%), низкий перегрев. Недостатки – сложная система управления двигателем, необходимо дополнительное полупроводниковое устройство, пульсации моментов [13].

Проведя анализ данных двигателей, мой выбор остановился на ДПТ, так как это самый простой по управлению двигатель. Шаговый двигатель хоть и имеет низкую стоимость, но фиксация ротора происходит при постоянной коммутации обмоток статора, что быстро будет разряжать батарею, тем более ШД нагревается, что не приветствуется. ВД не подходит из-за сложного управления, для которого нужно дополнительное полупроводниковое устройство. Для ограничения угла поворота ДПТ, как говорилось выше, будет применен редуктор с ограничителем, как и поддержка заданного положения. Для управления положением двигателя будет синтезирован одноименный контур, который, в случае отклонения от заданного положения, будет подавать управляющий импульс на мотор, приводя его в прежнее положение.

Контур и редуктор с ограничителем совмещены в серводвигателе, поэтому было принято решение о приобретении серводвигателя на основе ДПТ.

1.4 Подбор компонентов

Для того, чтобы выбрать нужный серводвигатель, нужно провести некоторые расчеты физических величин.

Главной характеристикой выбираемого серводвигателя – это вращающий момент. Примем за исходные данные, что протез держит груз весом 1 кг, укрепленный на ручке длиной 18 см.

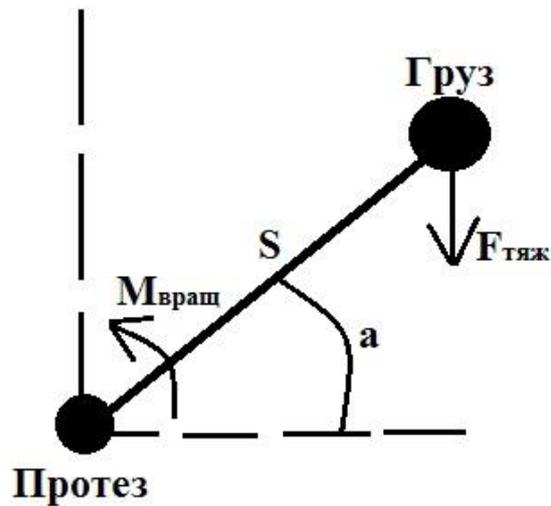


Рисунок 3 – Схема расчета требуемого момента

Если обеспечивается данный момент, то обычные бытовые операции (например, взять булку хлеба) не будут вызывать каких-либо затруднений.

Вращающий момент рассчитывается по формуле (1) [14]:

$$M = F \cdot S \quad (1),$$

где F – действующая сила, Н;

S – плечо силы, м.

Размерами руки можно пренебречь, так как большой погрешности в изменение момента они не вносят. Так как момент на валу зависит от угла поворота кисти, то следует в формулу (1) добавить зависимость от угла. Чтобы получить конкретное значение момента, складываем все моменты по формуле (2):

$$M = F \cdot S \cdot 2 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos(a) da, \quad (2)$$

где a – угол поворота вала, рад.

Действующая сила – тяжести, и она равна примерно 10 Н. Тогда вращающий момент будет равен:

$$M = 10 \cdot 0,18 \cdot 2 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos(a) da = 10 \cdot 0.18 \cdot 2 = 3.6 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3)$$

Согласно (3) выбираем серводвигатель. Рассматриваемые варианты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические данные сервоприводов

| Модель | Момент вращения, Н*м | Вес, г | Скорость вращения, об/мин | Габаритные размеры ШШхДхВВ, мм | Цена, руб |
|---|----------------------|--------|---------------------------|--------------------------------|-----------|
| Цифровой сервопривод DHV828 | 2.92 | 72 | 76.8 | 40x20x37 | 2520 |
| Цифровой сервопривод JX Servo cls6036hv | 3.56 | 60 | 91.2 | 40.3x20.2x40.3 | 1865 |
| Цифровой сервопривод CYS-S8218 | 4.2 | 164 | 49.8 | 59.5x29x55.2 | 1885 |

Из представленных моделей больше всего подходит цифровой сервопривод JX Servo cls6036hv, так как он обладает меньшей массой, моментом вращения близкому к рассчитанному.

1.5 Математическое моделирование системы управления поворотом протеза кисти

Динамические режимы работы сервопривода на основе двигателя постоянного тока удобно анализировать при помощи математических моделей. На рисунке 4 представлена функциональная схема устройства для поворота кисти протеза.

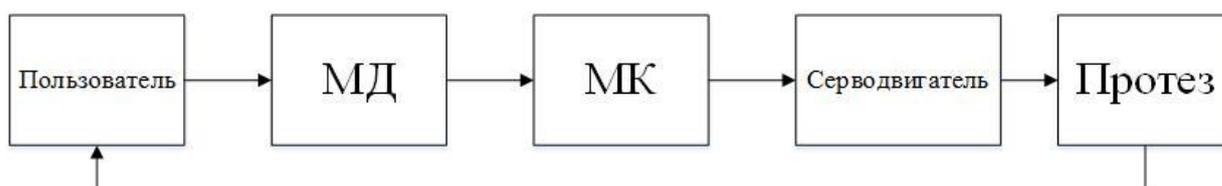


Рисунок 4 – Функциональная схема устройства для поворота кисти протеза

МД – миоэлектрические датчики;

МК – микроконтроллер;

Принцип работы, согласно функциональной схеме, следующий: пользователь при помощи миоэлектрических датчиков подает на микроконтроллер сигнал о повороте кисти, сокращая остаточные мышцы. Если сигнал поступил с датчика 1, то идет пронация, а если со 2 – супинация. Управляющий сигнал микроконтроллер подает на серводвигатель, который в свою очередь, вращает кисть. Обратная связь зрительная – пользователь сам решает, когда остановить вращение, ослабляя сокращение.

Эквивалентная схема двигателя постоянного тока представлена на рисунке 5 [15].

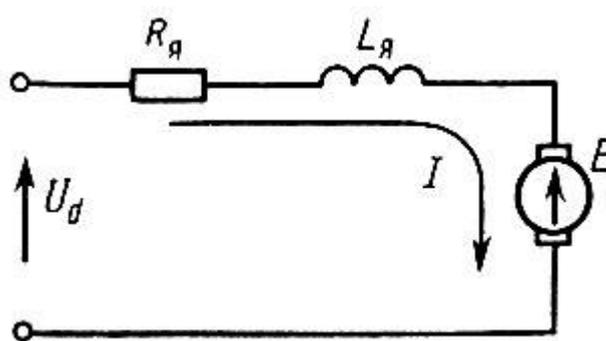


Рисунок 5 – Эквивалентная схема ДПТ

По первому закону Кирхгофа, приложенное напряжение уравнивается против ЭДС, возникающей в обмотках двигателя, E , падением напряжения на активном сопротивлении $I \cdot R_я$ и ЭДС электромагнитной индукции $L_я \cdot \frac{dI}{dt}$. Запишем данное выражение:

$$U = E + I \cdot R_я + L_я \cdot \frac{dI}{dt} \quad (4)$$

Против ЭДС может быть выражена через угловую скорость ω , магнитный поток Φ и конструктивный коэффициент C_e :

$$E = C_e \cdot \Phi \cdot \omega = k_e \cdot \omega, \quad (5)$$

где k_e – коэффициент пропорциональности, называемый постоянной ЭДС двигателя, [В·с/рад].

Вращающий момент двигателя связан с током соотношением:

$$M = C_m \cdot \Phi \cdot I_я = k_m \cdot I_я, \quad (6)$$

где k_m – коэффициент пропорциональности, называемый постоянной момента двигателя, [Н·м/А].

Изменение скорости в динамических режимах происходит под действием динамического момента, равного разности момента двигателя и момента статической нагрузки, а также происходит разгон двигателя, преодолевающего инерционные массы нагрузки и двигателя с моментом инерции J .

$$M_{\text{дин}} = M - M_{\text{ст}} \quad (7)$$

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (8)$$

Разгон начинается, как только вращающий момент двигателя превысит момент статической нагрузки. Таким образом, время разгона зависит от величины динамического момента и скорости его нарастания.

Время нарастания вращающего момента двигателя зависит от времени нарастания тока $I_{\text{я}}$, которое определяется электромагнитной постоянной времени:

$$T_{\text{э}} = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} \quad (9)$$

Электромеханическая постоянная времени $T_{\text{м}}$ характеризует зависимость времени разгона от момента инерции и возможного динамического момента двигателя:

$$T_{\text{м}} = \frac{J \cdot R_{\text{я}}}{k_e \cdot k_m} \quad (10)$$

Подставим в (4) выражения его составляющих, получим дифференциальное уравнение двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением:

$$U = k_e \cdot (T_{\text{м}} \cdot T_{\text{э}} \cdot \frac{d^2\omega}{dt^2} + T_{\text{м}} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega) \quad (11)$$

Решение дифференциальных уравнений вызывает затруднение, поэтому дифференциальное уравнение (11) переводим в операторную форму,

путем замещения дифференциальных составляющих на Лапласово изображение s . Тогда, уравнение (11) примет вид:

$$U = k_e \cdot \omega \cdot (T_M \cdot T_\Sigma \cdot s^2 + T_M \cdot s + 1) \quad (12)$$

Уравнению (12) соответствует структурная схема, представленная на рисунке 6.

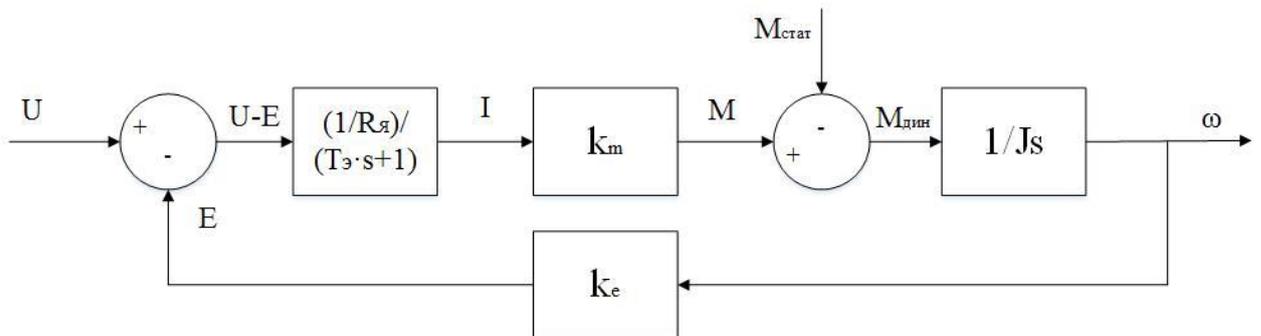


Рисунок 6 – Структурная схема двигателя

Передаточная функция двигателя представляет собой отношение выходной переменной ко входной. Для двигателя входом служит напряжение на якоре, а выходом – скорость вращения [рад/с].

$$W_{\text{ДВ}}(s) = \frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{\frac{1}{k_e}}{T_M \cdot T_\Sigma \cdot s^2 + T_M \cdot s + 1} \quad (13)$$

Так как осуществляется управление положением, то структурную схему устройство следует дополнить регулятором положения и отрицательной обратной связью. Дополненная структурная схема представлена на рисунке 7.

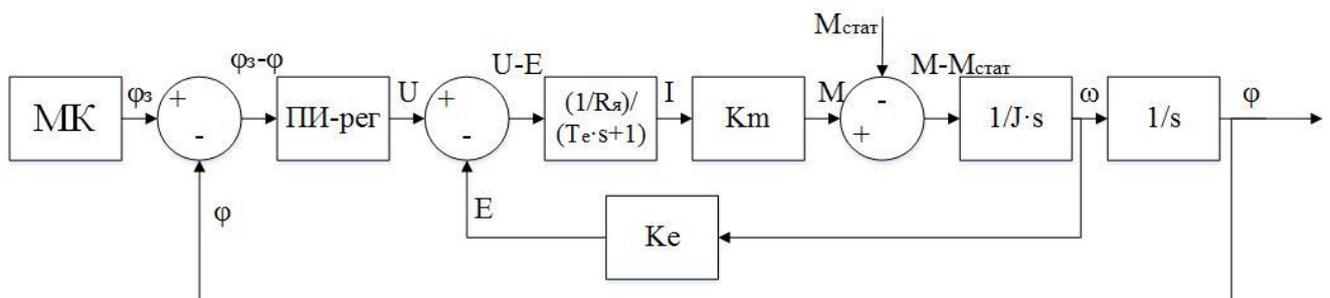


Рисунок 7 – Структурная схема системы

Для моделирования серводвигателя используется математический пакет MATLAB, который позволит оценить характеристики переходного процесса системы.

Проведем расчет некоторых величин, необходимых для моделирования выбранного двигателя. Технические характеристики, необходимые для расчета, представлены в таблице 5 [16].

Таблица 5 – Технические характеристики JX Servo cls6036hv

| Наименование характеристики | Размерность | Значение |
|---------------------------------|---------------------------------------|----------|
| Номинальный вращательный момент | Н· м | 3.56 |
| Номинальная скорость вращения | Об/мин | 91.2 |
| Постоянный крутящий момент | Н· м | 5 |
| Постоянная момента двигателя | Н· м/А | 0.50 |
| Противо ЭДС | В/ к· об/сек | 30 |
| Сопротивление якоря | Ом | 4.3 |
| Индуктивность якоря | мГ | 2.5 |
| Инерция ротора | кг· м ² · 10 ⁻³ | 3.2 |
| Механическая постоянная времени | мс | 5.5 |

Так как T_m дана, нужно найти $T_э$. Согласно (9), $T_э$ равна:

$$T_э = \frac{0.0025}{4.3} = 0.000581 \quad (14)$$

Статический момент двигателя – это его полезная нагрузка.

Подставляем значения в структурную схему. Результаты моделирования представлены на рисунках 8, 9, 10.

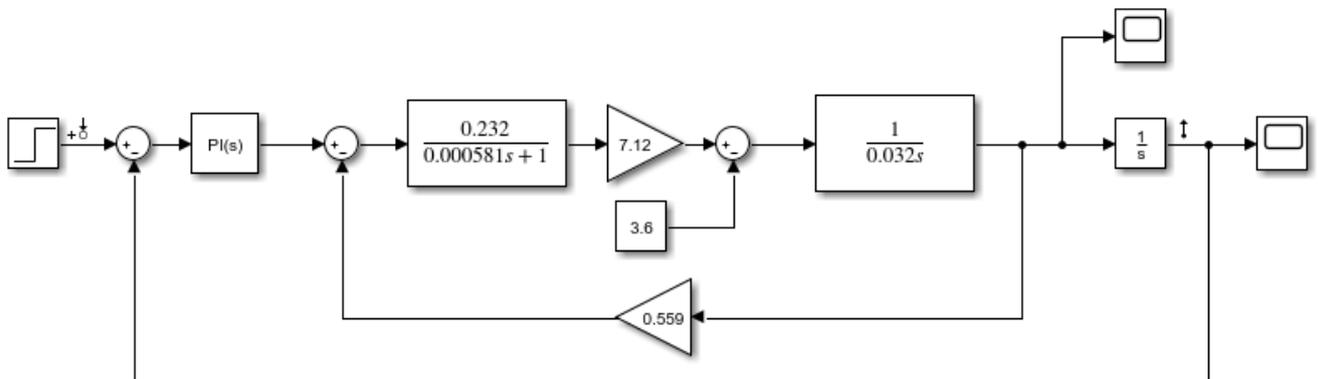


Рисунок 8 – Структурная схема в среде MatLAB Simulink

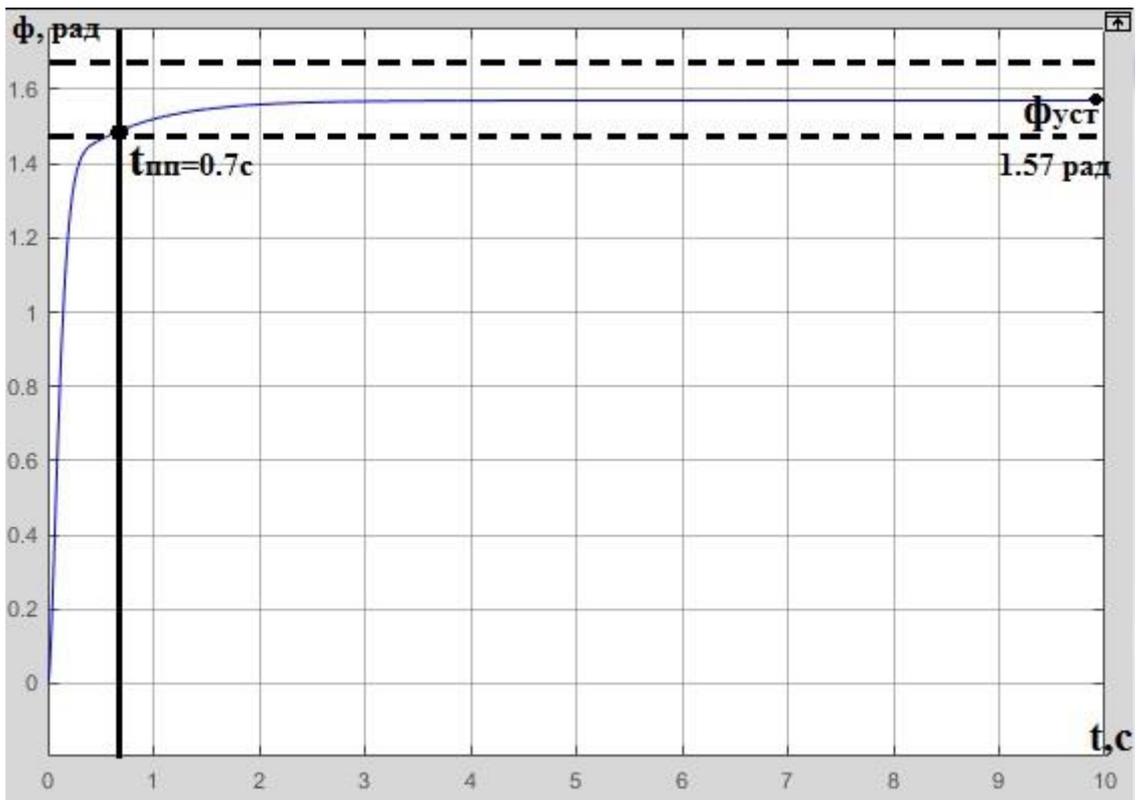


Рисунок 9 – График переходного процесса изменения угла поворота

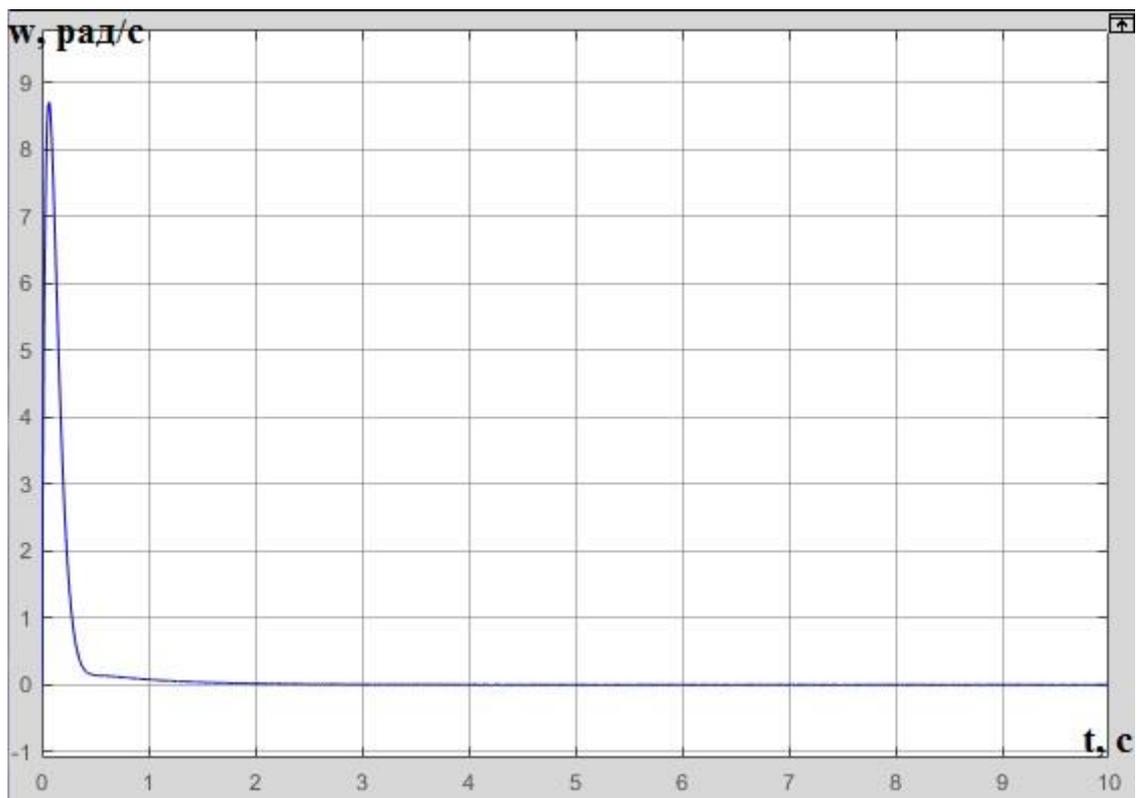


Рисунок 10 – График изменения скорости в процессе изменения угла

В ходе моделирования были получены следующие характеристики:
 время переходного процесса скорости $t_{ппс}=0.7$ с; устоявшееся значение

$\varphi_{уст}=1.57$ рад. Время переходного процесса было получено из графика на рисунке 6, путем оценки времени последнего входа кривой в 5 % коридор допуска (коридор от 1.492 рад до 1.649 рад). Задающее значение угла поворота точно достигнуто системой. Отсутствию ошибки регулирования способствует И-составляющая ПИ-регулятора. Настройки ПИ-регулятора – сложная задача, поэтому я воспользовался встроенной функцией пакета MATLAB Simulink PID Tune [17].

Для проверки устойчивости системы, воспользуемся критерием Гурвица, который гласит [18]: «все n определителей Гурвица, получаемые из квадратной матрицы коэффициентов должны быть положительными». Составим матрицу Гурвица по характеристическому уравнению передаточной функции (13)

$$a_0 \cdot s^n + a_1 \cdot s^{n-1} + a_2 \cdot s^{n-2} + \dots + a_n = 0 \quad (15)$$

$$\begin{pmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_m & 0 \\ T_m \cdot T_\varepsilon & 1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$\Delta_1 = T_m = 0.0055 > 0 \quad (17)$$

$$\Delta_1 = T_m - 0 = T_m = 0.0055 > 0 \quad (18)$$

Из выражений (18) и (19) следует, что система устойчива.

Вывод: при моделировании двигателя постоянного тока с редуктором было выяснено, что модель устойчива, время переходного процесса составляет 0.7 с, устоявшееся значение угла соответствует заданному. На вход двигателя микроконтроллером подается угол поворота, который является задающим сигналом. Система устойчива по критерию Гурвица.

1.6 Программная реализация устройства для поворота кисти протеза

Для управления серводвигателем в устройстве предусмотрен микроконтроллер. В данной работе используется микроконтроллер Arduino Uno, который был предоставлен заказчиком. Серводвигатель может быть подключен как непосредственно к выводам микроконтроллера, так и через

драйвер. В данном случае подключение прямое. От серводвигателя в нашем случае идут 3 провода []:

1. Красный – питание, подключается к контакту 5V или к источнику питания;
2. Коричневый – земля;
3. Желтый – сигнал; подключается к цифровому выходу.

Управляющими сигналами являются импульсы постоянной частоты и переменной ширины. Положение, которое должен занять серводвигатель, зависит от длины импульсов. Увеличение или уменьшение длины импульса заставит сервопривод поворачиваться по часовой или против часовой стрелки соответственно. В стандартной библиотеке Arduino Servo по умолчанию выставлены верхняя и нижняя границы импульсов: 544 мкс - 0°, 2400 мкс - 180°. (дописать)

Для осуществления управления серводвигателем следует разработать алгоритм. На рисунке 11 представлена общая блок-схема алгоритма устройства.

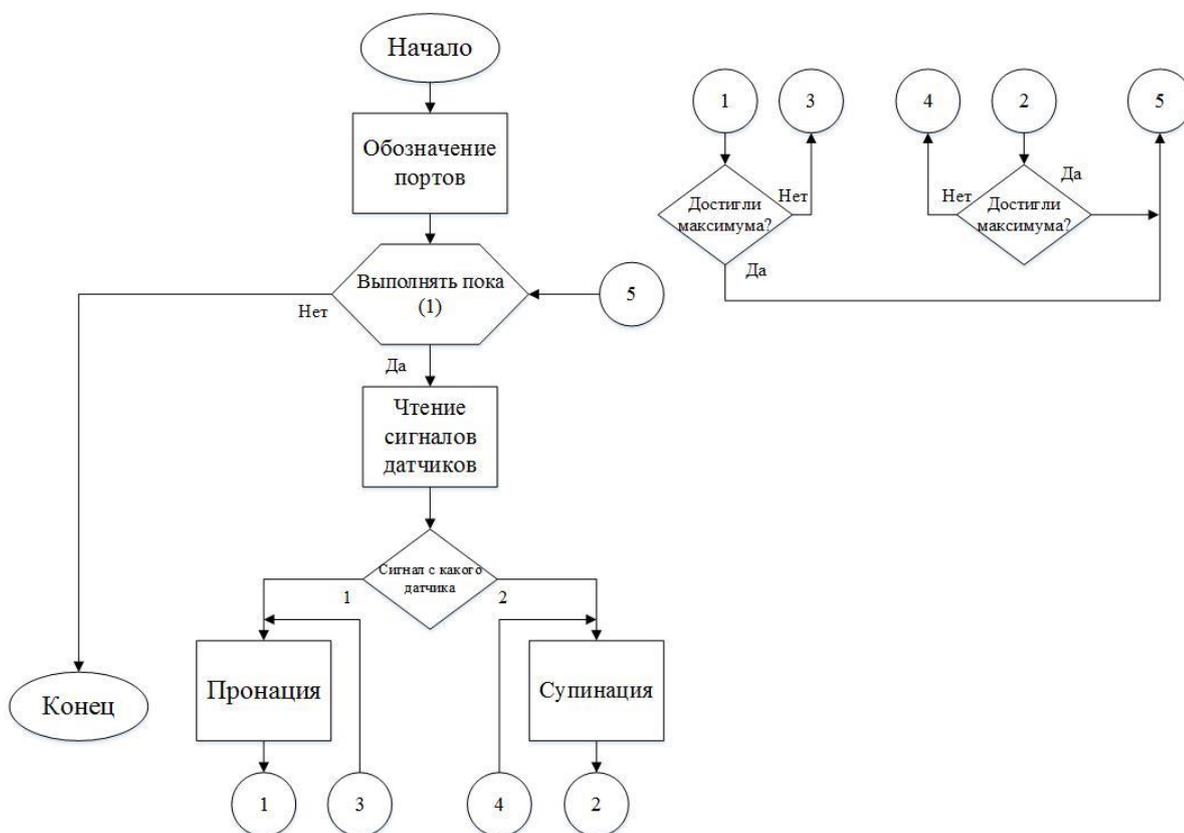


Рисунок 11 – Общая блок-схема алгоритма

Миоэлектрические датчики устанавливаются на мышцы, отвечающие за супинацию и пронацию. В комплекте идет 3 датчика, третий служит эталоном и крепится на кость. При повороте руки мышцы-супинаторы, или мышцы-пронаторы сокращаются, что фиксируется датчиками. Данный сигнал идет на аналоговый вход микроконтроллера, после чего сравнивается с постоянной шума, для выявления чистого сигнала. Если сигнал пришел с датчика 1, то выполняется пронация, если со 2 - супинация. Серводвигатель способен отслеживать положение ротора, поэтому данное значение будет записано в отдельную переменную. Если угол поворота достиг предела, серводвигатель перестает вращаться и идет снова проверка сигнала. Супинация или пронация выполняется до тех пор, пока идет сигнал с датчика или угол достиг предела.

Листинг программы предоставлен ниже:

```
#include <Servo.h>

Servo servol;
int val1, val2, val3, val4;
void setup()
{
  //Starting the serial monitor
  Serial.begin(9600);

  //Configuring servo pin
  servol.attach(10);

void loop()
{
  int x = 40;
  int b = 0;
  int c = 180;
  val1 = analogRead(5); //чтение сигнала с датчика 1
  val2 = analogRead(4); //чтение сигнала с датчика 2
  val3 = map(val1, 0, 1023, 0, 180); //масштабирование сигнала
  val4 = map(val2, 0, 1023, 0, 180); //масштабирование сигнала

  if((val1 > x) and (b<>180)) {
    servol.write(val3);
    b = b+val3;
    delay(30);
  }
```

```
else if ((val2 > x) and (c<>0) ) {  
    servol.write(val4);  
    c = c-val4;  
    delay(30);  
}  
}
```

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

Студенту:

| | |
|---------------|----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 8e41 | Елькин Сергей Вячеславович |

| | | | |
|---------------------|--------------|------------------------------|--|
| Школа | ИШИТР | Отделение школы (НОЦ) | ОАР |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 15.03.06.Мехатронника и робототехника |

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

| | |
|---|--|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Оклад студента – 2410 руб. в месяц; Оклад руководителя проекта – 33664 руб. в месяц. |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | - Тариф на электроэнергию– 5,26 руб./кВт·ч.; |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность вводится пониженная ставка – 27,1%. |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | - Методы коммерциализации результатов инженерных решений; - Морфологический анализ проекта. |
| 2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i> | - Определение трудоемкости выполнения работ; - Расчет материальных затрат НИИ; - Основная и дополнительная зарплата исполнителей темы; - Отчисления во внебюджетные фонды; - Накладные расходы; |

| | |
|--|---|
| | -Проведение анализа безубыточности проекта |
| 3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i> | |

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 | 01.03.2018 |
|---|------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|---------------------------|---------|------------|
| Доцент | Петухов Олег Николаевич | к.э.н | | 01.03.2018 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------------|
| 8e41 | Елькин Сергей Вячеславович | | 01.03.2018 |

2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Цель экономического раздела - провести детальный анализ проекта по критериям конкурентоспособности и ресурсоэффективности. Оценить перспективность проекта, определить трудоемкость и график работ, а также рассчитать интегральный показатель ресурсоэффективности.

2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В ходе ВКР были проведены исследования для получения оценки потребности рынка в устройстве для поворота кисти протеза.

Для того, чтобы определить потенциальных потребителей, необходимо определить **целевой рынок** и произвести его сегментирование.

Целевым рынком является рынок медицинской робототехники. Конечными потребителями являются пациенты с ампутацией кисти.

2.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Одним из наиболее популярных решений по восстановлению конечности является протезирование. Протезы по функционалу делятся на косметические, тяговые и бионические. Восстановление малого или базового функционала конечности удастся осуществить при применении бионических протезов.

Одними из базовых функций руки являются супинация (поворот ладонью вверх) и пронация (поворот ладонью вниз). Протез, который обладает данными функциями, повышает удобство его использования, расширяет область применения. Однако, только дорогие модели обладают данной функцией, причем угол поворота не ограничивается на 180° , как у живой руки.

Проект основан на разработке устройства для поворота кисти протеза для российского дешевого протеза компании «Моторика». Главной особенностью данной разработки будет являться ее простота реализации и

низкая цена. Устройство обладает базовыми супинацией и пронацией, так как человеку нет необходимости в большем угле поворота. Самые популярные аналоги это bebionic 3, i-limb ultra и Michelangelo. Главный недостаток – цена. Не всякий пациент способен приобрести данную продукцию, однако, она обладает высокой функциональностью.

Из сказанного выше можно сделать вывод, что нужно создать устройство, которое позволит создать общедоступный протез с базовыми функциями супинации и пронации. К такому же выводу можно прийти, проанализировав карту сегментации рынка (Таблица 6)

Таблица 6 – Карта сегментации рынка

| | | Вращение кистью | |
|------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | Да | Нет |
| Цена | Дешевый (до 1 000 000 руб.) | - | Страдивари |
| | Дорогой (свыше 1 000 000 руб.) | BeBionic 3 i-Limb Michelangelo | |

Серым в таблице обозначен целевой сегмент рынка.

2.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) это инструмент измерения характеристик, который описывает качество новой разработки, а также ее перспективность на рынке. Технология позволяет принимать решение о целесообразности вложения капитала в НИР. Технология может использоваться при проведении различных маркетинговых исследований, существенным образом снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов. Оценочная карта представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | Максимальный балл | Относительное значение (3/4) | Средневзвешенное значение (5x2) |
|--|--------------|-------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Показатели оценки качества разработки | | | | | |
| 1. Энергоэффективность | 0,05 | 80 | 100 | 0,80 | 0,04 |
| 2. Помехоустойчивость | 0,04 | 60 | 100 | 0,60 | 0,024 |
| 3. Надежность | 0,07 | 80 | 100 | 0,80 | 0,056 |
| 4. Вес | 0,16 | 100 | 100 | 1,00 | 0,16 |
| 5. Персонализация | 0,06 | 100 | 100 | 1,00 | 0,06 |
| 6. Безопасность | 0,16 | 70 | 100 | 0,70 | 0,16 |
| 7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности) | 0,09 | 80 | 100 | 0,80 | 0,072 |
| 8. Простота эксплуатации | 0,09 | 100 | 100 | 1,00 | 0,09 |
| 9. Качество интеллектуального интерфейса | 0,08 | 60 | 100 | 0,60 | 0,048 |
| 10. Ремонтопригодность | 0,08 | 60 | 100 | 0,60 | 0,048 |
| Показатели оценки коммерческого потенциала разработки | | | | | |
| 11. Перспективность рынка | 0,05 | 100 | 100 | 1,00 | 0,05 |
| 12. Цена | 0,07 | 100 | 100 | 1,00 | 0,07 |
| Итого | 1 | | | 9,9 | 0,878 |

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле (19):

$$P_{cp} = \sum P_i * 100 = 0.878 * 100 = 87,8, \quad (19)$$

где: P_{cp} – средневзвешенное значение показателей качества и перспективности научной разработки;

P – средневзвешенное значение показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Из таблицы можно сделать вывод, что разработку можно считать перспективной.

2.1.4 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – это комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Такой анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Составим матрицу SWOT (таблица 8):

Таблица 8 – SWOT- анализ

| | Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Невысокая стоимость. С2. Экономичность. С3. Простота реализации. С4. Персонализация | Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Ограниченный функционал Сл2. Отсутствие финансирования Сл3. Невысокая надежность Сл4. Отсутствие репутации на рынке |
|--|---|---|
| Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Расширение рынка потребления | При использовании инфраструктуры ТПУ можно снизить стоимость проекта. При невысокой стоимости увеличится спрос на бионические протезы. | Расширение рынка потребления может способствовать финансированию проекта. Проводя исследования на базе ТПУ можно разработать прототип и получить известность на рынке. |
| Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Низкая скорость изготовления У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства | Невысокая цена способствует повышению спроса. Невысокая скорость изготовления исходит из индивидуальной персонализации гильзы. | Необходимо разработать прототип и пройти сертификацию для того, чтобы выйти на рынок и заполучить репутацию. |

2.1.5 Морфологический анализ

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, которые вытекают из закономерностей объекта исследования. Анализ охватывает все возможные варианты. Путем комбинирования вариантов можно получить большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес. Составим таблицу 9, в которой будут отражены возможные варианты исполнения по различным проблемам разработки.

Таблица 9 – Морфологическая матрица для устройства поворота кисти протеза

| Характеристика | Варианты исполнения | | |
|---------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Двигатель | Двигатель постоянного тока | Шаговый двигатель | Вентильный |
| Передача | Червячная | Планетарная | Без передачи |
| Ограничение угла поворота | При помощи стопоров | Программная реализация | Комбинированная |

В основе устройства находится двигатель, но, из-за особенностей последних, следует выбирать передачу для удобства конструкции, приобретение некоторых функций. Так как устройство имеет максимальный угол поворота 180° , то следует ограничить его. Поэтому в качестве варианта исполнения берется сервопривод без передачи с комбинированным ограничением угла.

2.2. Планирование научно-исследовательских работ

2.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Трудоемкость выполнения проекта оценивается в человеко-часах и зависит от множества факторов, которые сложно учесть при разработке. Для реализации проекта необходимо 2 исполнителя – научный руководитель (НР), студент (С). Этапы работы проекта представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № этапа | Содержание работ | Исполнитель |
|--------------------------------|---------|--|-------------|
| Разработка задания | 1 | Постановка задачи | НР |
| Выбор направления исследования | 2 | Обзор научно-технической базы | НР, С |
| | 3 | Разработка и утверждение ТЗ | НР, С |
| | 4 | Составление календаря проекта | С |
| | 5 | Разработка вариантов исполнения проекта | НР, С |
| Теоретические исследования | 6 | Анализ вариантов исполнения | С |
| | 7 | Моделирование лучшего исполнения | С |
| | 8 | Устранение недоработок | С |
| | 9 | Разработка функциональной схемы устройства, подбор компонентов | НР, С |
| | 10 | Разработка математической модели устройства | С |
| | 11 | Разработка алгоритма работы | С |
| | 12 | Разработка чертежей | |
| Экспериментальные исследования | 13 | Сборка прототипа | С |
| | 14 | Тестирование работы алгоритма | С |
| | 15 | Обработка полученных результатов | С |

| | | | |
|--------------------------|----|-----------------------------------|---|
| Оформление отчета по НИР | 16 | Составление пояснительной записки | С |
|--------------------------|----|-----------------------------------|---|

2.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки зачастую приходится на заработную плату исполнителей, поэтому важно определить трудоемкость каждого из участников. Ожидаемая трудоемкость находится по формуле

$$t_{ожi} = \frac{3*t_{\min i} + 2*t_{\max i}}{5} \quad (20)$$

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$t_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (21)$$

где t_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн

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

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой. Для примера произведём расчёт первого этапа работы руководителя:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}, \quad (22)$$

где t_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 t_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{t_{\text{кал}}}{t_{\text{кал}} - t_{\text{вых}} - t_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 16} = 1,5, \quad (23)$$

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.

В таблице 11 находятся расчеты этапов отдельных видов работ.

Таблица 11 – Временные показатели проведения научного исследования

| 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 | | $t_{\text{ож}}$ чел-дни | | | | | |
| | Студент | Научный руководитель | Студент | Научный руководитель | Студент | Научный руководитель | Одновременное выполнение работ | | Одновременное выполнение работ | |
| | | | | | | | Студент | Научный руководитель | Студент | Научный руководитель |
| Постановка задачи | 5 | 3 | 8 | 6 | 6,2 | 4,2 | 3,1 | 2,1 | 5 | 1 |
| Обзор научно-технической базы | 7 | 2 | 12 | 4 | 9 | 2,8 | 4,5 | 1,4 | 7 | 3 |
| Разработка и утверждение ТЗ | 7 | 1 | 12 | 2 | 9 | 1,4 | 4,5 | 0,7 | 7 | 2 |
| Составление календаря проекта | 3 | 0 | 5 | 0 | 3,8 | 0 | 3,8 | 0 | 6 | 0 |
| Разработка вариантов исполнения проекта | 9 | 4 | 16 | 7 | 11,8 | 5,2 | 5,9 | 2,6 | 8 | 4 |

| | | | | | | | | | | |
|--|---|---|----|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| Анализ вариантов исполнения | 5 | 0 | 10 | 0 | 7 | 0 | 7 | 0 | 11 | 0 |
| Моделирование лучшего исполнения | 7 | 0 | 14 | 0 | 9,8 | 0 | 9,8 | 0 | 15 | 0 |
| Устранение недоработок | 3 | 0 | 5 | 0 | 3,8 | 0 | 3,8 | 0 | 6 | 0 |
| Разработка функциональной схемы устройства, подбор компонентов | 6 | 4 | 14 | 8 | 9,2 | 5,6 | 4,6 | 2,8 | 7 | 4 |
| Разработка математической модели устройства | 5 | 0 | 9 | 0 | 6,6 | 0 | 6,6 | 0 | 10 | 0 |
| Разработка алгоритма работы | 3 | 0 | 5 | 0 | 3,8 | 0 | 3,8 | 0 | 6 | 0 |
| Разработка чертежей | 4 | 0 | 6 | 8 | 4,8 | 0 | 4,8 | 0 | 7 | 0 |
| Сборка прототипа | 5 | 0 | 9 | 0 | 6,6 | 0 | 6,6 | 0 | 10 | 0 |
| Тестирование работы алгоритма | 3 | 0 | 6 | 0 | 4,2 | 0 | 4,2 | 0 | 6 | 0 |
| Обработка полученных результатов | 5 | 0 | 7 | 0 | 5,8 | 0 | 5,8 | 0 | 9 | 0 |
| Составление пояснительной записки | 3 | 0 | 7 | 0 | 4,6 | 0 | 4,6 | 0 | 7 | 0 |
| Итого | | | | | | | | | 127 | 14 |

2.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

По данным из таблицы 11 «Временные показатели проведения научного исследования» создадим диаграмму Ганта, которая строилась при максимальном количестве дней каждой работы.

Таблица 12 – Календарный план-график проведения НИОКР

| № этапа | Этап | Исполнитель | T _{кi} | Продолжительность выполнения работ | | | | | |
|---------|--|-------------|-----------------|------------------------------------|------|--------|-----|------|--|
| | | | | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь | |
| 1 | Постановка задачи | НР | 1 | 1 | | | | | |
| | | С | 5 | 2 | | | | | |
| 2 | Обзор научно-технической базы | НР | 3 | | 3 | | | | |
| | | С | 7 | | 4 | | | | |
| 3 | Разработка и утверждение ТЗ | НР | 2 | | | 2 | | | |
| | | С | 7 | | | 3 | | | |
| 4 | Составление календаря проекта | С | 6 | | | | 6 | | |
| 5 | Разработка вариантов исполнения проекта | НР | 4 | | | 4 | | | |
| | | С | 8 | | | 4 | | | |
| 6 | Анализ вариантов исполнения | С | 11 | | | | 11 | | |
| 7 | Моделирование лучшего исполнения | С | 15 | | | | | 15 | |
| 8 | Устранение недоработок | С | 6 | | | | | 6 | |
| 9 | Разработка функциональной схемы устройства, подбор компонентов | НР | 4 | | | | 4 | | |
| | | С | 7 | | | | 4 | | |
| 10 | Разработка математической модели устройства | С | 10 | | | | | 10 | |
| 11 | Разработка алгоритма работы | С | 6 | | | | | 6 | |
| 12 | Разработка чертежей | С | 7 | | | | | 7 | |
| 13 | Сборка прототипа | С | 10 | | | | | 10 | |
| 14 | Тестирование работы алгоритма | С | 6 | | | | | 6 | |
| 15 | Обработка полученных результатов | С | 9 | | | | | 9 | |
| 16 | Составление пояснительной записки | С | 7 | | | | | 7 | |

2.2.4 Бюджет научно-технического исследования

Бюджет научно-технического исследования должен быть основан на достоверном отображении всех видов расходов, связанных выполнением проекта. В процессе формирования бюджета разработки используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты разработки;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты на научные и производственные командировки;
- накладные расходы.

2.2.5 Расчет материальных затрат

Для вычисления материальных затрат воспользуемся следующей формулой:

$$Z_M = (1 + k_t) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхi}, \quad (24)$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

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

k_t – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 13 – Материальные затраты

| Наименование | Единица измерения | Количество | Цена |
|--------------------|-------------------|------------|-------|
| ПК | Шт. | 1 | 25000 |
| Канцелярский набор | Шт. | 1 | 200 |
| Паяльная станция | Шт. | 1 | 4900 |
| Набор для пайки | Шт. | 1 | 400 |
| Контроллер | Шт. | 1 | 400 |

| | | | |
|--------------------|-------|---|------|
| Аккумулятор | Шт. | 1 | 650 |
| Набор инструментов | Шт. | 1 | 1000 |
| Сервопривод | Шт. | 1 | 1600 |
| Провода (50 шт.) | Шт. | 1 | 650 |
| Итого, руб. | 34800 | | |

2.2.6 Основная заработная плата исполнителям темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату. Она рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (25)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}}, \quad (26)$$

где $Z_{\text{м}}$ – 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; при отпуске в 72 раб. дней $M = 9,6$.

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | Руководитель | Студент |
|--|--------------|---------|
| Календарное число дней | 365 | 365 |
| Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни | 120 | 120 |
| Потери рабочего времени | 48 | 72 |

| | | |
|--|-----|-----|
| - отпуск - невыходы по болезни | | |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 197 | 173 |

Месячный оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_m = Z_{тс} * (1 + k_{пр} + k_d) * k_p, \quad (27)$$

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

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20% от $Z_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители | Разряд | $Z_{тс}$, руб. | $k_{пр}$ | k_d | k_p | Z_m , руб | $Z_{дн}$, руб. | T_r , раб. дн. | $Z_{осн}$, руб. |
|-----------------|--------|--------------------|----------|-------|-------|----------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Руководитель | 1 | 33664 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 65644,8 | 3465,51 | 14 | 48517,17 |
| Студент | | 1854 | 0 | 0 | 1,3 | 2410,2 | 130,95 | 127 | 16630,65 |
| Итого $Z_{осн}$ | | | | | | | | | =65147,82 |

2.2.7 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата включает заработную плату за не отработанное рабочее время, но гарантированную действующим законодательством. Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле :

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} \quad (28)$$

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

$k_{доп}$ равен 0,12. Результаты по расчетам дополнительной заработной платы сведены в таблицу 16.

Таблица 16 – Затраты а дополнительную заработную плату

| Исполнители | Основная зарплата (руб.) | Коэффициента дополнительной заработной платы ($k_{\text{доп}}$) | Дополнительная зарплата (руб.) |
|--------------|--------------------------|---|--------------------------------|
| Руководитель | 48517,17 | 0,12 | 5822,0604 |
| Студент | 16630,65 | 0,12 | 1995,678 |
| Итого: | | | 7817,74 |

2.2.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (29)$$

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

На 2018 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2018 году пониженная ставка – 27,1%. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. |
|--|---------------------------------|---------------------------------------|
| | | |
| Руководитель проекта | 48517,17 | 5822,0604 |
| Студент | 16630,65 | 1995,678 |
| Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды | 27,1% | |
| Итого | | |
| Руководитель | 14725,93 | |
| Студент | 5047,73 | |
| Итого | 19773,66 | |

2.2.9 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д. Расчет накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{нак}} = \sum C_{\text{T}} * k_{\text{нр}}, \quad (30)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы,

C_{T} – затраты по статьям накладных расходов

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 10%.

$$Z_{\text{нак}} = (34800 + 65147,82 + 7817,74 + 19773,66) * 0.10 = 12753,922 \quad (31)$$

2.2.10. Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками). В данном проекте отсутствует необходимость в стороннем подрядчике.

2.2.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат НИИ

| Наименование статьи | Сумма (руб.) |
|--|--------------|
| 1. Материальные затраты НИИ | 34800 |
| 2. Затраты на заработную плату научному руководителю | 54339,23 |
| 3. Затраты на заработную плату студенту | 18626,33 |

| | |
|---|------------|
| 4. Затраты на отчисления во внебюджетный фонд | 19773,66 |
| 5. Накладные расходы | 12753,922 |
| Бюджет затрат НИИ | 140293,142 |

ТПУ частично финансирует проект, предоставляя лабораторию для работы, ПК, инструменты, заработную плату и иных ресурсов.

2.2.12 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности ресурсов

В результате исследования были определены затраты на проект по разработке устройства для поворота протеза кисти. Бюджет составляет 140 тыс. руб. Учитывая все конкурентные преимущества данного устройства, можно предположить, что продукт будет конкурентоспособным и будет иметь спрос на рынке.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| | |
|---------------|----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 8Е41 | Елькин Сергей Вячеславович |

| | | | |
|---------------------|--------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Школа | ИШИТР | Отделение | ОАР |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 15.03.06 Мехатроника и робототехника |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|---|---|
| <p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p> | <p>Объектом исследования является устройство для поворота протеза кисти руки.</p> <p>Устройство состоит из датчиков, которые прикрепляются к уцелевшей части конечности, передающие сигнал к повороту кисти по часовой стрелке или против, сервопривода, обеспечивающего вращательное движение, микроконтроллера, деревянной подставки.</p> <p>Рабочим местом является рабочий стол. Основным оборудованием, на котором производится работа, является ПК, паяльная станция.</p> |
|---|---|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| <p>1. Производственная безопасность</p> | <p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Шум – Микроклимат – Освещение – Психофизические факторы (перенапряжение органов зрения (в процессе построений моделей, разработки программной части), умственное перенапряжение, фиксированная рабочая поза; |
|--|--|

| | |
|--|---|
| | <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Электрический ток (источником является ПК, батарея питания устройства) – Короткое замыкание – Статическое электричество – Термическая опасность (источником является паяльная станция); |
| 2. Экологическая безопасность: | <p>Воздействие объекта на атмосферу, гидросферу не происходит.</p> <p>Воздействия на литосферу: образование отходов при пайке, при поломке устройства; вышедшие из строя люминесцентные лампы, компоненты ПК.</p> |
| 3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: | <p>Чрезвычайной ситуацией, которая может возникнуть на рабочем месте, является возникновение пожара.</p> |
| 4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. | <p>Рабочее место должно быть организовано с учетом эргономических требований согласно ГОСТ 12.2.033-78.</p> <p>Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется в СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03.</p> |

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 01.03.2018 |
|---|------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------|------------------------|---------|------------|
| ассистент | Авдеева Ирина Ивановна | | | 01.03.2018 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------------|
| 8Е41 | Елькин Сергей Вячеславович | | 01.03.2018 |

3 Социальная ответственность

Во время работы с устройством для поворота кисти протеза на работника может воздействовать ряд производственных факторов. Необходимо указать меры по обеспечению безопасности трудовой деятельности для предупреждения и сохранения здорового состояния работника.

Устройство для поворота кисти протеза представляет собой микроконтроллер, сервопривод, батарею питания, миоэлектрические датчики, деревянная подставка.

Предполагается, что данное устройство будет использоваться пациентами в повседневной жизни, используя устройство, как подспорье к здоровой руке или к иному протезу.

3.1 Производственная безопасность

В данном разделе рассматриваются опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть во время эксплуатации данного устройства. Перечисленные факторы приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Вредные и опасные факторы при разработке и выполнении работ с устройством для поворота кисти протеза

| Наименование работ (источник фактора) | Факторы (ГОСТ 12.0.003-74) | | Нормативные документы |
|---|---|--|---|
| | Вредные | Опасные | |
| 1. Работа с устройством для поворота кисти протеза; 2. Техническое обслуживание устройства для поворота кисти протеза; | 1. Психологические факторы: умственное перенапряжение, перенапряжение органов зрения, фиксированная рабочая поза; 2. Шум на рабочем месте; 3. Освещение рабочего места; 4. Микроклимат в помещении, где проводятся работы; | 1. Электробезопасность (электрический ток, питающий ПК, незащищенные электрические провода, короткое замыкание, статическое электричество); 2. Термическая опасность; | 1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96; 2. СНиП П-12-77; 3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96; 4. СанПиН 2.2.4.548-96; |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | 5. ГОСТ Р интеллектуальная 50571.3-94; 6. ГОСТ Р 12.1.019-2009; |
|--|--|--|--|

3.1.1 Микроклимат

Микроклимат рабочего места определяется в основном тремя параметрами:

- температура окружающего воздуха, °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- скорость движения воздуха, м/с;

Комфортность и производительность труда, а также состояние здоровья человека зависит от микроклимата в помещении. Микроклимат влияет на организм человека комплексно сочетая выше приведенные параметры. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата, согласно СанПиН 2.2.3.548-96 [19] приведены в таблице 20:

Таблица 20 – Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|--|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный | Ia (до 139) | 22 - 24 | 21 - 25 | 60 - 40 | 0,1 |
| Теплый | Ia (до 139) | 23 - 25 | 22 - 26 | 60 - 40 | 0,1 |

Работы производятся сидя и сопровождаются незначительным физическим напряжением. Требуемые, согласно нормативам значения параметров микроклимата в помещении, где находится рабочее место в течение всего года поддерживаются благодаря ежечасному проветриванию и центральному отоплению.

3.1.2 Шум

При разработке устройства для поворота кисти протеза работник подвержен уровням шума, издающиеся от персонального компьютера и от работающего сервопривода. Шум оказывает как местное, так и общее

воздействие на организм человека: учащается пульс, дыхание, поднимается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка. Также шум является причиной головных болей, мигреней, бессонниц, ослабленного внимания, замедленной психической реакции. В совокупности факторы, указанные выше, влияют на работоспособность негативным образом. Допустимые шумовые характеристики рабочих мест регламентируются СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 [20]. В данном случае, работа персонала относится к конструированию, проектированию и программированию, а рабочее место располагается в лаборатории для теоретических работ и обработки данных. Соответственно, уровень допустимого шума составляет 50 дБА, согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 таблица 2. Шум, который производит ПК не превышает 40 дБ, а шум от сервопривода не превышает 20 дБ.

В качестве мер защиты от шума применяют звукопоглощающие материалы для отделки помещения, звукоизоляцию.

Рабочее место удовлетворяет нормативным требованиям.

3.1.3 Психофизические факторы

Работа оператора с компьютером попадает под ГОСТ 12.2.032. и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно- вычислительным машинам и организации работы" [21].

Фиксированная рабочая поза вызывает нарушение кровоснабжения в нижних конечностях и органах тазовой области, приводящие к профессиональным заболеваниям. При вынужденном сидячем образе жизни могут возникать сколиозы, остеохондрозы, кифозы.

При проектировании рабочего места необходимо стремиться к тому, чтобы рабочая поза была как можно ближе к естественной позе человека. Поэтому стоит предусматривать выполнение работы как стоя, так и сидя. Особого отношения требует разработка кресел для людей, которые постоянно выполняют работу сидя за ПК. Спинка кресла должна максимально

эффективно распределять давление тела, и это достигается при соответствии конструкции кресла анатомическому строению человека.

В процессе работы с ПК необходимо соблюдать правильный режим труда и отдыха, иначе у персонала отмечаются значительное перенапряжение зрительного аппарата, которые приводят к головным болям, усталости, болезненных ощущений в глазах.

Рабочее место разработчика устройства для поворота кисти протеза, при соблюдении правил работы с ПК, полностью соответствует требованиям по сохранению нормального психофизического состояния человека.

3.1.4 Освещение

Освещение влияет на работоспособность даже в тех случаях, когда процесс труда не зависит от зрительного восприятия.

При плохом освещении могут развиваться профессиональные заболевания, такие как близорукость, спазм аккомодации и др., повышена потенциальная опасность совершения ошибочных действий, несчастных случаев.

Больше гигиеническое значение имеет естественное освещение. Диффузное освещение, образуемое взаимодействием прямого и отраженного света, создает благоприятное распределение яркости, что оказывает положительное действие на зрение.

Работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для любого типа помещений. Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК представлены в таблице 21.

Таблица 21 - Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК

| | |
|--|------------------------------|
| Освещенность на рабочем столе | 300-500 лк |
| Освещенность на экране ПК | не выше 300 лк |
| Блики на экране | не выше 40 кд/м ² |
| Прямая блесккость источника света | 200 кд/м ² |
| Показатель ослеплённости | не более 20 |
| Показатель дискомфорта | не более 15 |

| | |
|---|-------------|
| Отношение яркости: | |
| – между рабочими поверхностями | 3:1–5:1 |
| – между поверхностями стен и оборудования | 10:1 |
| Коэффициент пульсации: | не более 5% |

Работа за паяльной станцией относится к зрительным работам при пайке материалов толщиной 0.5 – 1.5 мм, что определяет разряд зрительной работы: Шб. Рекомендуемые показатели освещения при пайке представлены в таблице 22.

Таблица 22 - Рекомендуемые показатели освещения при пайке

| Освещенность, лк | | Показатель ослепленности | Коэффициент пульсации, %, не более |
|----------------------------------|------------------------|---------------------------------|---|
| Комбинированное освещение | Общее освещение | | |
| 1250 | 400 | 40 | 5-10 |

Гигиенические требования к производственному освещению, основанные на психофизических особенностях восприятия света и его влияния на организм человека, могут быть сведены к следующим:

- спектральный состав света, создаваемого искусственными источниками, должен приближаться к солнечному;
- уровень освещенности должен быть достаточным и соответствовать гигиеническим нормам, учитывающим условия зрительной работы;
- должна быть обеспечена равномерность и устойчивость уровня освещенности в помещении во избежание частой переадаптации и утомления зрения. В то же время, по имеющимся данным, при длительной работе в равномерно освещенном пространстве может нарушаться восприятие формы объектов, реализующееся, в конечном счете, в зрительных галлюцинациях.

На рабочее место приходится около 420 люкс, что, согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, удовлетворяет нормирующим характеристикам; имеются естественный и искусственный источники света [22].

3.1.5 Электробезопасность

В процессе разработки устройства для поворота кисти протеза возможно поражение электрическим током, проходящим от сети к ПК, а также к паяльнику. Электричество представляет для человека большую опасность, так как ток оказывает термическое (ожоги места контакта провода и тела), электролитическое (разложение крови и других жидкостей) и биологическое воздействия. Тело человека не может на расстоянии определить, есть ли электрическое напряжение на корпусах электроприборов. Условия поражения электрическим током увеличивается при следующих условиях в помещении: влажность воздуха длительное время превышает 75%, температура воздуха 35°C, наличие токопроводящей пыли, а также одновременное соприкосновение с заземленными конструкциями и корпусами электроприборов.

Одним из опасных факторов при использовании электрических приборов является короткое замыкание (КЗ). В большинстве случаев, короткое замыкание возникает из-за повреждения изоляции токоведущих частей. Ток короткого замыкания во много раз превышает ток при нормальной работе оборудования. Возможными последствиями такого замыкания могут быть:

- Перегрев токоведущих частей.
- Чрезмерные динамические нагрузки.
- Прекращение подачи электрической энергии потребителям.
- Нарушение нормального функционирования других взаимосвязанных приемников, которые подключены к исправным участкам цепи, из-за резкого снижения напряжения.
- Расстройство системы электроснабжения.

Наиболее простым способом защиты от короткого замыкания является установка плавких предохранителей, которые перегорают от нагревания вследствие превышения тока определенной величины. Также, в качестве защиты, рекомендуется использовать электрические автоматы, которые при

превышении тока определенной величины разрывает контакт, а возникающую электрическую дугу гасит в дугогасящей камере.

Токи статического электричества, наведенные в процессе работы компьютера на корпусах монитора, системного блока, клавиатуры, а также при работе за паяльной станцией, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Такие разряды опасности для человека не представляют, но могут привести к выходу из строя выше описанного оборудования.

Методы защиты от воздействия статического электричества: влажная уборка, чтобы уменьшить количество пылинок в воздухе и на предметах; использование увлажнителей воздуха; защитное заземление; применение средств индивидуальной защиты, таких как антистатические спреи и браслеты. Таким образом, работа с ПК и паяльником разрешается только в помещениях без повышенной опасности, и поражение током возможна только непосредственно с касанием элементов ПК.

Для защиты от возможного поражения электрическим током следует соблюдать следующие мероприятия:

1. Убедиться в надежности выключателей и розеток (закреплены, отсутствуют оголенные провода);
2. При обнаружении неисправностей, не предпринимать никаких действий самостоятельно, обратиться за профессиональной помощью;
3. Запрещается загромождать рабочее место лишними предметами;
4. Исключать доступ к открытым токоведущим частям путем закрытия, ограждения последних;
5. Применение блокировок, аппаратов аварийного отключения, ограждений в случае случайного доступа к токоведущим частям;
6. Применение на рабочем месте предупреждающих плакатов, надписей;

7. Использовать защитные приспособления для снижения статического электричества путем передачи в заземленную магистраль.
8. Использование средств защиты и приспособлений в том числе от воздействия магнитного и электрического полей в электроустановках.

Все требуемые средства и меры защиты имеются на рабочем месте. Используется инструмент с изолированными ручками, изоляция токоведущих частей не нарушена.

3.1.6 Термическая опасность

Работы, связанные с пайкой и лужением, относятся к огневым работам и выполняются в соответствии с требованиями пожарной безопасности.

Один из основных опасных факторов, возникающих при паяльных и лудильных работах – ожоги брызгами расплавленного металла и флюса.

Основным условием при пайке и лужении является проведение их в ваннах с расплавленным припоем. Рабочий снабжается защитными очками, рукавицами и фартуком, что является основной мерой безопасности и предотвращения термических и химических ожогов при попадании расплавленного металла или флюса на кожу.

3.1.7 Экологическая безопасность

Сегодня проблема загрязнения окружающей среды приобретает глобальный характер. Атмосфера, гидросфера и литосфера подвержены загрязнению веществами, созданными человеком. Для сохранения не только природы, но и в частности здоровья людей, предприятиям следует применять в своих производствах приспособления и оборудование, которое уменьшает или ликвидирует негативное влияние на окружающую среду.

ПК после завершения использования (срока эксплуатации) можно отнести к отходам электронной промышленности. Переработка такого рода отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования

компонентов и направлением их для дальнейшего использования: кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы.

Отслужившие люминесцентные лампы по окончании срока эксплуатации следует сдавать на специальные предприятия, имеющие на данную деятельность лицензию, где они подлежат дальнейшей утилизации, цель которой сбор и нейтрализация веществ, содержащих ртуть. Ртуть является одним из опасных отходов человеческой деятельности.

Устройство для поворота кисти протеза оказывает влияние на литосферу, в случае его поломки. При поломке, утилизация происходит с разделением на фракции:

- пластмассы;
- металлы;
- гальванические элементы;

3.1.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при эксплуатации устройства является пожар. При возникновении высоких токов на сервоприводе может возникнуть возгорание.

В качестве противопожарных мероприятий должны быть применены следующие меры:

- в помещении должны находиться средства тушения пожара, средства связи; электрическая проводка электрооборудования и осветительных приборов должна быть исправна;
- все сотрудники должны знать место нахождения средств пожаротушения и уметь ими воспользоваться, средств связи и номера экстренных служб.

В связи с возможностью возникновения пожара разработан следующий план действий:

- в случае возникновения пожара постараться устранить очаг возгорания имеющимися силами при помощи первичных средств

пожаротушения (огнетушитель порошковый, углекислотный О-1П0 (з)-АВСЕ);

- привести в действие ручной пожарный извещатель, если очаг возгорания потушить не удастся;

- сообщить о возгорании в службу пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить адрес, место и причину возникновения пожара;

- принять меры по эвакуации людей и материальных ценностей;

- встретить пожарную охрану, при необходимости сообщить всю необходимую информацию и оказать помощь при выборе наилучшего подхода к очагу возгорания.

В здании, где находится рабочее место, соблюдены требования пожаробезопасности, имеются средства пожаротушения.

3.1.9 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Требования к организации рабочих мест предъявляются следующее. Рабочее место должно быть организовано с учетом эргономических требований согласно ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» и ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное [24][25]. Общие требования безопасности к рабочим местам». В соответствии с государственными стандартами и правовыми нормами обеспечения безопасности предусмотрена рациональная организация труда в течение смены, которая предусматривает:

- длительность рабочей смены не более 8 часов;

- установление двух регламентируемых перерывов (не менее 20 минут после 1-2 часов работы, не менее 30 минут после 2 часов работы);

- обеденный перерыв не менее 40 минут.

3.2 Вывод по разделу «Социальная ответственность»

В ходе выполнения работы над разделом «Социальная ответственность» были выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергнуться человек, разрабатывающий устройство для поворота кисти протеза. Среди этих факторов есть шум, уровень освещённости, показатели микроклимата, психофизиологические факторы и электрический ток, но их показатели не превышают допустимых значений. Был проведен анализ нормативной документации.

Основываясь на результатах проделанной работы, был предложен ряд мер, для исключения или уменьшения влияния опасных и вредных факторов на человека и окружающую среду. Таким образом, рабочее место разработчика изделия соответствует нормативным требованиям по безопасности.

Заключение

В результате выполненной работы была разработана система управления для поворота прототипа протеза кисти, которая расширит функционал существующего прототипа.

Были разработаны схемы, позволяющие изучить структуру и функционал устройства, осуществлен подбор компонентов, согласно ТЗ и математическим расчетам. Была составлена математическая модели двигателя постоянного тока, а также проведено имитационное моделирование системы с контуром управления положением.

Основой для реализации узла послужил прототип протеза кисти компании ООО «Моторика». В качестве микроконтроллера был предоставлен Arduino Uno.

Результатом работы также является получение математической модели, разработка алгоритма работы устройства.

Список использованных источников

1. Протез: что это такое и какие они бывают? // Наследник URL: http://naslednick.online/rubric/science/science_1147.html (дата обращения: 24.01.2018).
2. Общая численность инвалидов по группам инвалидности // Федеральная служба государственной статистики URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/invalid/1-1.doc (дата обращения: 27.01.2018).
3. Инвалидность при ампутации конечностей // Дверь в мир URL: <https://doorinworld.ru/stati/invalidnost-pri-amputatsii-konechnostey> (дата обращения: 27.01.2018).
4. Resetting the MyoBock™ quick disconnect wrist // Ottobock URL: https://professionals.ottobockus.com/media/pdf/techtips/Upper/techtip_119.pdf (дата обращения: 20.02.2018).
5. BeBionic 3 Technical information // BeBionic URL: http://bebionic.com/distributor/documents/bebionic3_technical_information_-_Lo_Res.pdf (дата обращения: 10.02.2018).
6. Киберпротез beBionic3 – будущее в вашей «руке» // LPost URL: <https://lpost.ru/futuro/2012/11/07/kiberprotez-bebionic3-budushhee-v-vashey-ruke/> (дата обращения: 10.02.2018).
7. i-Limb ultra technical information // Touch bionics URL: <http://assets.ossur.com/library/38895> (дата обращения: 16.02.2018).
8. i-Limb ultra // Touch bionics URL: <http://www.touchbionics.com/products/active-prostheses/i-limb-ultra> (дата обращения: 16.02.2018).
9. Обзор рынка бионических рук // Хабр URL: <https://habr.com/post/395115/> (дата обращения: 3.03.2018).
10. Michelangelo for technicians // Ottobock URL: https://www.ottobock.ru/media/local-media/for-specialists/prosthetics/646d501-michelangelo_for_technicians.pdf (дата обращения: 3.03.2018).
11. Герасимов В. Г., Кузнецов Э. В., Николаева О. В. Электротехника и электроника. Кн. 2. Электромагнитные устройства и электрические машины. — М.: Энергоатомиздат, 1996. — С. 62. — ISBN 5-283-05005-X.
12. Шаговый двигатель // Инженерные решения URL: <http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/stepper/> (дата обращения: 15.03.2018).
13. Нгуен Конг Там, Динь Куок Вьонг, Ле Тхай Бинь, Вентильный электродвигатель // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. - 2015.

14. Т.И. Трофимова Курс физики: Уч. пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 560с.
15. С. Г. Воронин ЭЛЕКТРОПРИВОД ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. - Челябинск: Издательство ЧГТУ, 1995.
16. JX Servo cls6036hv datasheet // URL: http://www.giden.ru/data/PDF/stepping_motors/Technosoft/servomotors.pdf (дата обращения: 04.04.2018).
17. Малышенко А.М. Математические основы теории систем: Учебник для вузов. – Томск: ТПУ, 2008. – 364 с.
18. Воронов А.А. Теория автоматического управления Ч.1. - 2-е издание изд. - М.: Высшая школа, 1986. - 367 с.
19. СанПиН 2.2.3.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
20. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения».
21. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
22. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».
23. ГОСТ 12.2.033-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя.»
24. ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам