

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество Казахский «Национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»

Специальность 6В07111– Робототехника и мехатроника

Камбаров Надир Амангельдыұлы

Тема: Разработка системы управления бионической руки–протеза

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

Специальность 6В07111– Робототехника и мехатроника

Алматы 2023

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат технических наук
Ожиганов К.А.
2023 г.



ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема: «Разработка системы управления бионической руки-протеза»

по специальности 6В07111 – Робототехника и мехатроника

Выполнил: Камбаров Н.А.

Научный руководитель:
Магистр технических наук,
старший преподаватель

Баянбай Н.А.

Рецензент:
PhD, ассоциированный профессор

Балбаев Г.К.

«23» май 2023 г.

«26» май 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество Казахский «Национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева»



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

6B07111 – Робототехника и мехатроника



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Камбаров Надир Амангельдыұлы

Тема: Разработка системы управления бионической руки-протеза

Утверждена приказом Ректора Университета № 408-1/п от «24» май 2023 г.

Срок сдачи законченной работы «21» декабря 2022 г.

Исходные данные к дипломному проекту: Arduino Uno

Перечень подлежащих разработке вопросов в дипломном проекте:

- а) общие представления о протезах
- б) анализ разновидностей систем управления протезами
- в) Разработка датчиков на основе графитового сопротивления для управления пальцами протеза, также создание схем подключения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Представлены 17 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 12 наименований 12

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологическая часть	10.01.15.03	Выполнено
Практическая часть	16.03 - 10.05	Выполнено

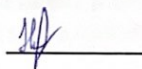
Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект)
с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Ж.С. Бигалиева, магистр технических наук, старший преподаватель	25.05.23	
Основная часть	Н.А. Баянбай, магистр технических наук, старший преподаватель	25.05.23	
Расчетная часть	Н.А. Баянбай, магистр технических наук, старший преподаватель	25.05.23	



Баянбай Н.А.

Научный руководитель



Камбаров Н.А.

Задание принял к исполнению обучающийся

Дата

«25» мая 2023 г.

АННОТАЦИЯ

Данный дипломный проект заключается в создании системы управления бионической руки протеза. Главная цель состоит в том, чтобы создать систему дистанционного управления, основанной на датчиках изгиба, представляет собой актуальную тему исследований в области бионических протезов.

В первой части работы обсуждаются общие аспекты протезов, их разновидности, статистика использования и аналоги на рынке.

Во второй части представлена практическая реализация системы управления, которая включает датчики изгиба на основе графитового сопротивления, интегрированные в перчатку, а также программа управления протезом с использованием микроконтроллеров и Bluetooth модуля.

Результатом дипломной работы стала возможность дистанционного контроля протезом руки с использованием датчиков изгиба и Bluetooth модулей. Такая система имеет широкий потенциал для управления бионическими протезами рук и является значимым достижением в области технологий.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жобаның жұмысы бионикалық қолды протезді басқару жүйесін әзірлеу болып табылады. Негізгі мақсат – бионикалық протездер саласындағы өзекті зерттеу тақырыбы болып табылатын иілу датчигі негізінде қашықтан басқару жүйесін құру.

Дипломдық жобаның бірінші бөлімінде протездердің жалпы аспектілері, олардың түрлері, басқару жүйелері, статистикасы және нарықтағы аналогтары талқыланады.

Екінші бөлімде қолғапқа бекітілген графиттік кедергі негізіндегі иілу сенсорлары, сондай-ақ микроконтроллерлер мен Bluetooth модулі арқылы протезді басқару бағдарламасы бар басқару жүйесінің практикалық іске асырылуы ұсынылған.

Дипломдық жобаның нәтижесі иілу сенсорлары мен Bluetooth модульдерінің көмегімен протездік қолды қашықтан басқару мүмкіндігі болды. Мұндай жүйенің бионикалық протездік қолды басқарудың кең әлеуеті бар және бұл технологиядағы елеулі прогресс болып табылады.

ABSTRACT

This thesis project is to create a control system for a bionic prosthetic arm. The main goal is to create a remote-control system based on bending sensors, is a current research topic in the field of bionic prostheses.

The first part of the paper discusses the general aspects of prostheses, their varieties, usage statistics and analogues on the market.

The second part presents the practical implementation of the control system, which includes graphite resistance-based bending sensors integrated into the glove, as well as the prosthesis control program using microcontrollers and a Bluetooth module.

The thesis work resulted in the ability to remotely control the prosthetic hand using bend sensors and Bluetooth modules. Such a system has a wide potential for controlling bionic prosthetic arms and is a significant achievement in the field of technology.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Исследовательская часть	8
1.1 Понятие о протезе	8
1.2 Виды протезов	9
1.3 Статистика и исследование проблемы	11
1.4 Обзор систем управлений бионическими протезами	12
1.5 Обзор аналогичных систем на рынке	15
1.6 Кинематическая модель	17
2 Практическая часть	20
2.1 Устройства и реализация системы	20
2.2 Программная часть и принцип работы	27
2.3 Результаты	31
Заключение	33
Список использованной литературы	34
Приложение А	35

Введение

Протезы являются одной из наиболее важных и передовых технологий в медицине, обеспечивая людям возможность восстановления моторики и функциональности конечностей. Бионические протезы, в частности, представляют собой современное средство, возвращающее мелкую моторику рук, и позволяющее работать в опасных условиях, где непосредственное взаимодействие с предметами невозможно или опасно. Основная цель создания таких телеуправляемых бионических рук - обеспечить удобный и интуитивно понятный способ управления протезами, позволяющий пользователям максимально сохранять свободу движений и гибкость.

Протезирование конечностей является одной из самых древних медицинских практик в истории человечества. Уже в древних цивилизациях, таких как Древний Египет и Древний Рим, использовались примитивные протезы из дерева, металла и кожи, чтобы помочь людям, потерявшим руки или ноги, справиться с повседневными задачами. Однако с тех пор технологии протезирования претерпели глубокие изменения, и бионические протезы стали одним из наиболее передовых и инновационных достижений в этой области. История протезов насчитывает множество различных моделей и дизайнов, начиная от первоначальных "двухэлементных зажимов", реагирующих на изменение напряжения мышц, до современных бионических протезов, имитирующих сложные движения и контролирующийся отдельными пальцами. С развитием мехатроники, сенсорных устройств и биологически безопасных материалов, а также методов получения и обработки информации о состоянии органов человека, робототехнические протезы стали все более точными, функциональными и доступными для пациентов.

Они способны в значительной степени восстановить качество жизни людей, предоставляя возможность выполнения рядовых физических задач, таких как передвижение, взятие и перенос предметов, а также улучшая социологические аспекты жизни, такие как независимость, самостоятельность и взаимодействие с окружающим миром. Бионические протезы также снижают социальную нагрузку на родственников и патронажные службы, позволяя людям с ограниченными возможностями быть более самостоятельными и активными членами общества.

1 Исследовательская часть

1.1 Понятие о протезе

Протез руки – это медицинское устройство, предназначенное для замены или восстановления функциональности верхней конечности, которая была утрачена в результате травмы, ампутации или других медицинских условий. Протезы рук могут быть статичными, предназначенными только для косметического восстановления внешнего вида конечности, или бионическими, которые обладают электромеханическими компонентами, позволяющими контролировать и воспроизводить сложные движения руки. Одной из особенностей протезов рук является их индивидуализация. Каждый пациент имеет уникальные потребности и требования в отношении функциональности, эстетики и комфорта протеза. Поэтому современные протезы рук разрабатываются с учетом анатомических особенностей пациента и могут быть настроены под его индивидуальные потребности.

Бионические протезы рук оснащены передовыми технологиями, такими как сенсоры и микропроцессоры, которые позволяют контролировать движения протеза с помощью мышечных сигналов или других сенсорных входов. Это позволяет пользователям бионических протезов рук выполнять сложные движения, такие как сжатие, разжимание, захват и поворот объектов, что дает им возможность восстанавливать потерянные функции и выполнять повседневные задачи с высоким уровнем независимости.

Одним из важных аспектов разработки протезов рук является также эргономика и комфорт использования. Протезы должны быть удобными и легкими в использовании, чтобы пользователи могли носить и использовать их в течение длительного времени без дискомфорта или утомления. Современные протезы рук также могут иметь различные эстетические опции, такие как косметические оболочки, которые позволяют пользователям индивидуализировать внешний вид своего протеза и подчеркнуть свою индивидуальность.

Протезирование рук имеет значительный положительный эффект на качество жизни пациентов. С помощью современных протезов рук люди могут восстанавливать свою независимость, выполнять повседневные задачи, такие как одевание, кормление, письмо, и даже заниматься спортом и хобби. Это позволяет им вновь стать активными участниками общества, повышает их самооценку и самоуважение, и помогает справиться с эмоциональными и психологическими трудностями, связанными с потерей конечности.

Современные технологии также позволяют создавать более функциональные и эргономичные протезы рук. Например, некоторые бионические протезы рук оснащены датчиками, которые позволяют пользователю чувствовать силу и сопротивление при взаимодействии с объектами, что делает использование протеза более естественным и интуитивным. Также существуют протезы рук с возможностью

Механическая рука-протез типа тяговой является активным протезом, обладающим высокой функциональностью и надежностью. Она позволяет расширить возможности ее владельца благодаря применению современных материалов, обеспечивающих легкий вес. Управление протезом относительно просто, что позволяет рекомендовать его для использования пациентами любого возраста. Кроме того, протез обладает возможностью контроля усилия при выполнении хвата, что достигается благодаря использованию тяг механизма и передачи мускульных усилий через культю. Подбор параметров протеза учитывает особенности ампутации и культю.

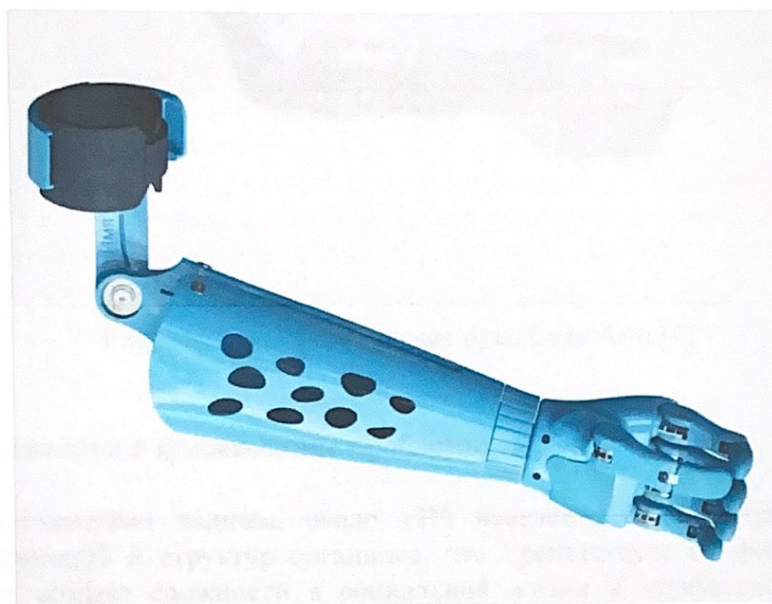


Рисунок 1.2 – Тяговый механический протез предплечья CYBI Hand [3]

Это протезы с внешними источниками энергии относятся к категории протезов, которые требуют периодической подзарядки. Однако, в сравнении с механическими протезами, они обладают более высокой функциональностью и позволяют выполнять более точные движения. Управление такими протезами осуществляется разными способами, которая включает в себя передача сигналов от мышц на сервоприводы. Каждое сокращение или расслабление мышц вызывает нервные импульсы, идущие от мозга, которые имеют электрическую природу и могут быть считаны с помощью чувствительных датчиков. [1]

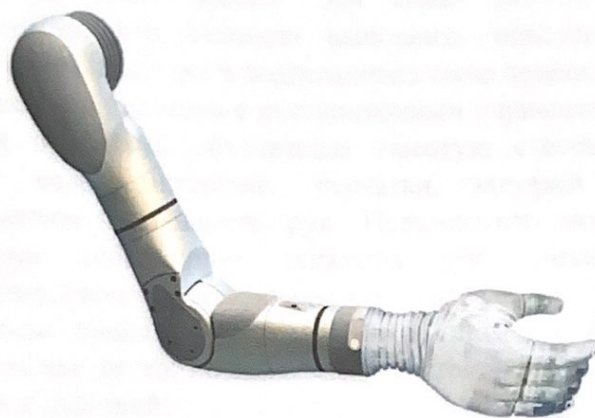


Рисунок 1.3 – Бионическая рука Luke Arm [4]

1.3 Статистика и исследование проблемы

По официальным данным, около 12% населения Земли страдает от нарушений функций и структур организма, что препятствует их физической активности и создает сложности в социальной жизни и профессиональной деятельности. Ежегодно более 50 миллионов людей получают ту или иную степень инвалидности по различным причинам [5], в результате чего около 300 тысяч из них лишаются конечностей, включая ноги, а 390 тысяч – руки.

Исходя из данных Национального статистического комитета Республики Казахстан за 2020 год, число людей с ограниченными возможностями в Казахстане составляет 432,8 тыс. человек, что составляет 2,2% от общего числа населения страны.

Согласно исследованию, проведенному ЮНФПА и Министерством здравоохранения Республики Казахстан в 2020 году, в Казахстане примерно 93 000 человек страдают от потери конечностей. Это составляет около 0,5% населения страны.[6]

Также стоит отметить, что в Казахстане есть различные организации и компании, занимающиеся производством и установкой протезов. Одна из них компания MBionics. Компания осуществляет создание отечественных бионических протезов сертифицированными комплектующими. [7]

Постановка исследовательской задачи для системы управления протезом с дистанционным управлением заключается в обеспечении эффективного решения для людей с ограниченными возможностями руки или кисти, которым требуется

повышенная функциональность и независимость. Стандартные протезы ограничены в своей функциональности, обычно позволяя выполнять только базовые движения или силу захвата. Это может оказать существенное воздействие на возможности человека выполнить повседневные задачи, принимать участие в мероприятиях и поддерживать свою независимость.

Система управления протезом с дистанционным управлением предлагает решение для этой проблемы, обеспечивая высокую степень контроля и функциональности через интерфейс перчатки, который обеспечивает интуитивное управление и ловкость рук. Пользователь может управлять протезом, используя собственные движения рук, обеспечивая более естественную и интуитивно понятную систему управления. Эта технология способна значительно повысить качество жизни людей с ограниченными возможностями руки или кисти, позволяя им самостоятельно выполнять более широкий круг задач и действий.

Система управления протезом с дистанционным управлением может использоваться в различных отраслях, где требуется высокая степень точности и ловкости, таких как производство, а также для работы с опасными материалами. Интерфейс перчатки позволяет осуществлять дистанционное управление, что снижает риск получения травм или воздействия опасных материалов на работников.

Использование в отраслях, таких как авиация, где пилоты могут управлять приборами без необходимости отвлекаться на физическое перемещение рук. Также это может быть полезно для операционных команд, работающих в условиях высокого риска, например, во время обезвреживания взрывчатых устройств или спасательных операций.

Хирургические операции на расстоянии: с помощью протеза с дистанционным управлением хирург может осуществлять хирургические операции на расстоянии, не находясь физически рядом с пациентом. Это особенно полезно в случаях, когда пациент находится в месте, где нет специалистов, способных выполнить нужную операцию.

1.4 Обзор систем управлений бионическими протезами

ЭМГ (электромиография) – это метод исследования, который используется для измерения электрической активности мышц. В процессе ЭМГ исследования электроды устанавливаются на кожу или внедряются непосредственно в мышцы, чтобы измерить сигналы, которые возникают при сокращении мышц. Эти сигналы записываются и могут быть использованы для диагностики различных мышечных и нервных заболеваний, а также для определения эффективности лечения и реабилитации.

Метод заключается в том, что управления протезом конечности происходит путем обнаружения и анализа электрических сигналов, генерируемых мышцами культи. Эти электрические сигналы, известные как миоэлектрические сигналы,

возникают в результате движения ионов внутри мышечных волокон во время мышечных сокращений.

Система управления ЭМГ состоит из нескольких компонентов, включая электроды, усилитель, процессор и контроллер двигателя. Электроды размещаются на коже культи и используются для обнаружения миоэлектрических сигналов. Усилитель используется для усиления слабых сигналов, обнаруженных электродами. Процессор анализирует сигналы и преобразует их в команды для протеза руки, а контроллер двигателя посылает эти команды на исполнительные механизмы протеза руки для создания движения.

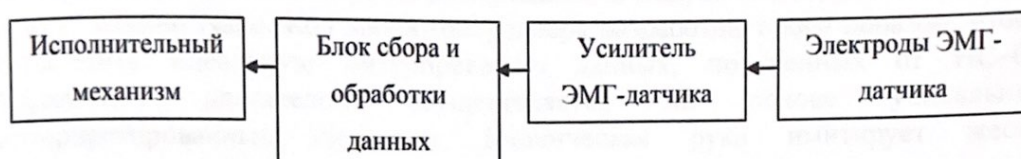


Рисунок 1.4 – Блок-схема прототипа бионического протеза, основанного на использовании электромиографии для управления системой [8]

При напряжении мышц датчик фиксирует изменения электрического потенциала на поверхности кожи

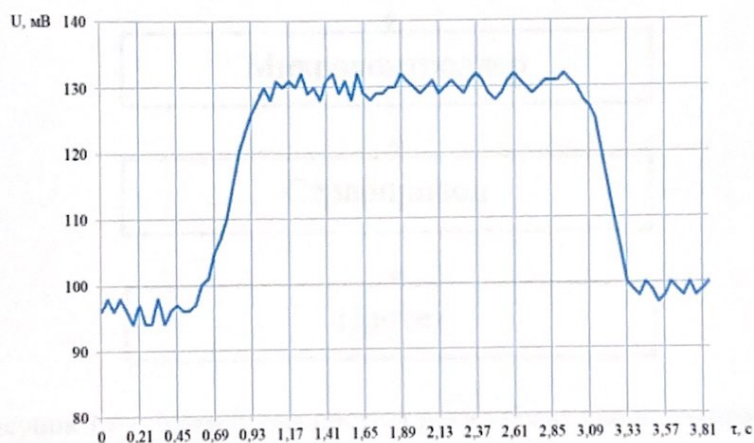


Рисунок 1.5 – График, отражающий зависимость электрического потенциала мышц предплечья от времени [8]

Технология распознавания голоса для управления протезом руки предполагает использование программного обеспечения для распознавания речи и алгоритмов для интерпретации устных команд. Программное обеспечение анализирует аудиосигнал от голоса пользователя и преобразует его в текст, который может быть использован для управления протезом руки. [9]

Чтобы добиться точного и надежного распознавания голоса, программное обеспечение должно быть обучено на большом наборе образцов голоса пользователя. Это позволяет программному обеспечению распознавать голос пользователя и более точно интерпретировать его команды. [9]

Бионическая рука, которая управляется механизмом пальцев с помощью сервопривода. Для голосового управления используется приложение на платформе Android и HC-05-Bluetooth-модуль. Приложение Arduino Bluecontrol используется для распознавания голосовых команд, которые назначаются уникальным символам в приложении. Символ передается в виде ASCII-значения на модуль Bluetooth HC-05, а затем передается в модули последовательной связи платы Arduino Nano. Код микроконтроллера разработан таким образом, чтобы обеспечить идеальную интерпретацию данных, полученных от HC-05. Управление двигателем осуществляется на основе уникальных интерпретированных символов. Бионическая рука имитирует жесты человеческой руки на основе моторного управления. [9]

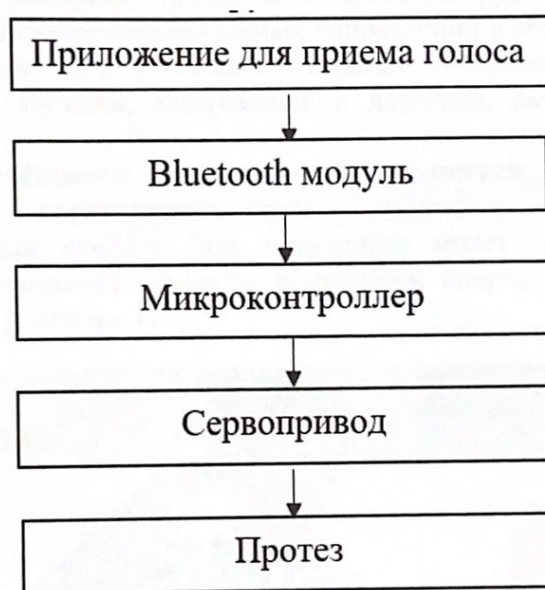


Рисунок 1.6 – Блок-схема протеза руки управляемый голосом [9]

Нейронное управление – это относительно новый метод управления протезами рук, который предполагает подключение протеза руки непосредственно к нервной системе пользователя. Это позволяет добиться более естественного и интуитивного управления, поскольку мозг пользователя может напрямую взаимодействовать с протезом руки. Один из подходов к нейронному управлению заключается в имплантации электродов непосредственно в нервы или мышцы пользователя. Эти электроды могут принимать сигналы от нервов или мышц и посылать их в компьютерный алгоритм, который преобразует их в команды для протеза руки. Другой подход заключается в использовании

интерфейсов мозг-компьютер (BCIs), которые подразумевают имплантацию электродов в мозг пользователя для получения сигналов непосредственно от моторной коры - части мозга, которая управляет движением.

Нейронное управление способно обеспечить пользователям более естественный и интуитивный контроль над протезами рук, но пока оно находится на ранних стадиях развития. Существует ряд проблем, которые необходимо преодолеть, включая необходимость в более совершенных имплантируемых устройствах и более сложных алгоритмах для перевода нейронных сигналов в команды для протеза руки. Исследователи также изучают способы обеспечения пользователей сенсорной обратной связью, позволяющей им чувствовать и взаимодействовать с объектами в окружающей среде с помощью протеза руки.

1.5 Обзор аналогичных систем на рынке

Системы дистанционного управления протезом руки через перчатку являются одним из наиболее перспективных направлений в области разработки бионических протезов. Эти системы позволяют пользователю управлять протезом, используя сигналы, получаемые с датчиков, расположенных на перчатке. [10]

Tactile telerobot является инновационной технологией, предназначенной для управления робототехническими системами с помощью телекоммуникационных средств. Эта технология имеет многообещающие перспективы для повышения точности и гибкости операций, выполняемых роботами в сложных условиях. [10]

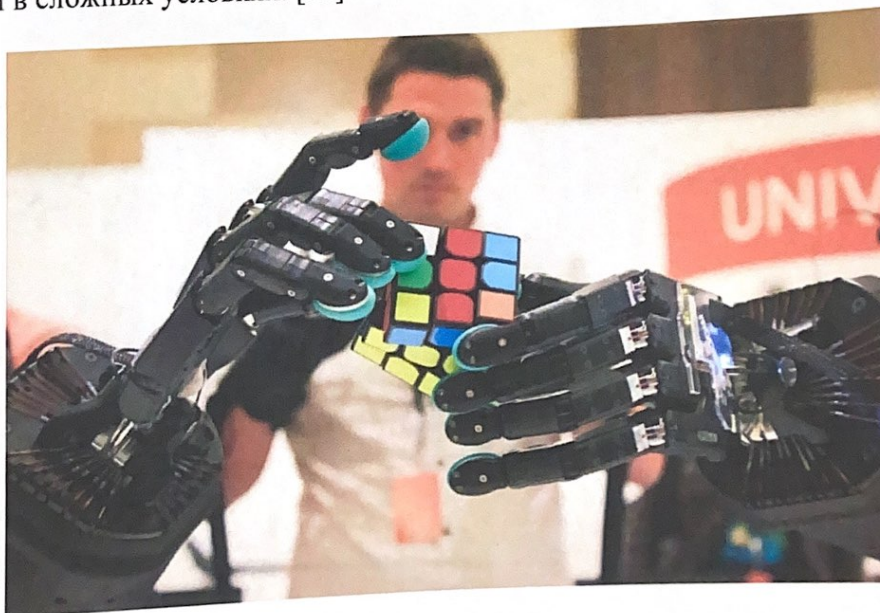


Рисунок 1.8 – Tactile telerobot [10]

Стоит рассмотреть бионический протез Deka bionic arm. Одним из способов управления бионической рукой является использование инерциальный измерительный блок и, которые крепятся к верхней части обуви с помощью клипсы. Эти устройства используют гироскопы и акселерометры МЭМС (микро электромеханические системы) для обнаружения даже небольших перемещений стопы и лодыжки в пространстве относительно "нулевой" позиции, которая программируется гибким образом. Пользователь может инициировать движение протеза, наклоняя стопу (и прикрепленный IMU) в различных направлениях. [11]



Рисунок 1.9 – Три итерации управления ногами: (а) FSR-нога, подключенная к АСІ(интерфейс управления действиями) (слева) и блок АСІ и батарея (справа); (b) IMU-1 и блок батареи АСІ, надетые на обувь (слева) и ботинки (справа); (c) IMU-2 на клипсе (слева) и на шнурках (справа) [11]

Эти пользовательские входы принимаются и оцифровываются одним или несколькими АСІ, которые затем передают эти сигналы на главный модуль управления (МСМ). МСМ генерирует и передает команды управления рукой на соответствующий электрический модуль, который управляет механическими движениями протеза. Все входы управления изначально настраиваются с помощью беспроводного графического интерфейса пользователя (называемого

интерфейсом протезиста (PI)), который работает на персональном компьютере и доступен для врача, но не предназначен для пользователя-ампутанта.[11]

1.6 Кинематическая модель

Расчет кинематики протеза руки является важной научной задачей, поскольку он позволяет определить движения, которые может совершать протез и какие углы его суставов должны принимать для выполнения конкретных действий. Это позволяет создать более точный и эффективный протез, который будет максимально приближен к реальным движениям руки. [12]

Кроме того, расчет кинематики протеза руки также помогает понять, как различные параметры конструкции протеза влияют на его функциональность и эргономику. Научное исследование кинематики протеза руки позволяет оптимизировать его дизайн, что может существенно повысить его эффективность и практичность в повседневной жизни людей с ограниченными возможностями.

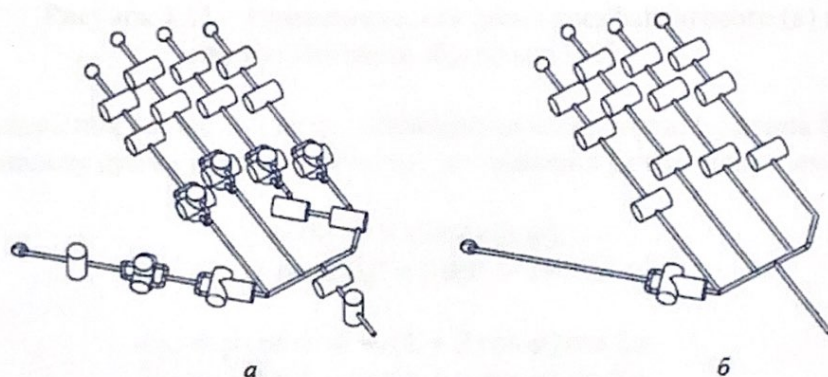


Рисунок 1.10 – Кинематическая схема кисти руки: полная (а), упрощенная (б) [12]

В данной модели протеза руки для обеспечения подвижности всех фаланг пальцев используется только один привод. В данном случае отсутствует возможность перемещать пальцы независимо друг от друга, а также отсутствует возможность совершать движения в запястье. Большой палец характеризуется наличием одной фаланги с дополнительной сложной структурой, что обеспечивает два уровня подвижности. Эта особенность позволяет выполнять разнообразные действия, включая хватательные движения, с удобством и точностью. Конструкция модели руки включает пальцы с тремя фалангами и пальцы с двумя фалангами, соответствующие мизинцу, безымянному, среднему и указательному пальцам, а также большому пальцу соответственно. [12]

Для обеспечения необходимого положения в пространстве сопряженных звеньев решается прямая задача кинематики. В соответствии с моделью,

движение трехфаланговых пальцев реализуется одним приводом, и каждый палец имеет одну степень свободы. Угол между фалангами φ^* предполагается одинаковым для каждого пальца, соответствуя физиологии пальца. Движение трехфалангового пальца является плоским, как изображено на рисунке 1.11а.

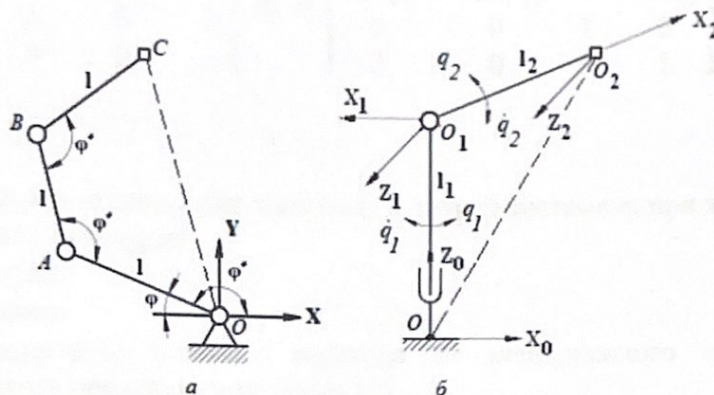


Рисунок 1.11 – Кинематическая схема трехфалангового (а) и двухфалангового (б) пальца [12]

Обозначения на рис. 1.11а: φ – обобщённая координата; l – длина фаланги. Поскольку сумма углов $\varphi + \varphi^* = 180^\circ$, из трапеции OABC получаем:

$$\begin{aligned} \rho = OC &= l(1 + 2 \cos \varphi), \\ \psi = \angle COX &= 180^\circ - 2\varphi, \end{aligned} \quad (1.1)$$

$$\begin{cases} x_c = \rho \cos \psi = -l(1 + 2 \cos \varphi) \cos 2\varphi \\ y_c = \rho \sin \psi = -l(1 + 2 \cos \varphi) \sin 2\varphi \end{cases} \quad (1.2)$$

[12]

Получения вектора скорости можно применить процесс дифференцирования к вектору координат:

$$V_c = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l\dot{\varphi}(\sin \varphi + 2 \sin 2\varphi + 3 \sin 3\varphi) \\ l\dot{\varphi}(\cos \varphi + 2 \cos 2\varphi + 3 \cos 3\varphi) \end{pmatrix}. \quad (1.3)$$

[12]

Формула показывает, что скорость движения конца пальца (точки C) прямо зависит от длины пальца для каждого определенного угла φ .

Для решения задачи пространственной подвижности большого пальца с двумя степенями свободы (q_1 и q_2), используется система координат Денавита–Хартенберга и матрицы перехода между звеньями. Это позволяет определить

положение и ориентацию каждого звена относительно другого в трехмерном пространстве на основе заданных углов q_1 и q_2 . Матрица:

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos q_1 & 0 & \sin q_1 & 0 \\ \sin q_1 & 0 & -\cos q_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & l \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} \cos q_2 & \sin q_2 & 0 & \cos q_2 \\ \sin q_2 & -\cos q_2 & 0 & \sin q_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

A_n - матрица перехода от одной системы ($n-1$) к другой системе n , при этом:

$n = 0$ неподвижное основание

$n = 1$ первая фаланга

$n = 2$ вторая фаланга

Будут определены матрицы перехода от неподвижного основания (запястья) к каждому последующему звену (n)

$$T_1 = A_1$$

$$T_2 = A_1 \times A_2 \begin{bmatrix} \cos q_1 \cos q_2 & -\cos q_1 \sin q_2 & \sin q_1 & l_2 \cos q_1 \cos q_2 \\ \sin q_1 \cos q_2 & -\sin q_1 \sin q_2 & -\cos q_1 & l_2 \sin q_1 \cos q_2 \\ \sin q_2 & \cos q_2 & 0 & l_1 + l_2 \sin q_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1.5)$$

[12]

В неподвижной системе координат положение конца пальца может быть представлено с помощью радиус-вектора:

$$\rho = \begin{bmatrix} l_2 \cos q_1 \cos q_2 \\ l_2 \sin q_1 \cos q_2 \\ l_1 + l_2 \sin q_2 \end{bmatrix} \quad v = \begin{bmatrix} -l_2(\sin q_1 \cos q_2 * \dot{q}_1 + \sin q_2 \cos q_1 * \dot{q}_2) \\ l_2(\cos q_1 \cos q_2 * \dot{q}_1 - \sin q_1 \sin q_2 * \dot{q}_2) \\ l_2 \cos q_2 * \dot{q}_2 \end{bmatrix}. \quad (1.6)$$

[12]

2 Практическая часть

2.1 Устройства и реализация системы

Бионическая рука состоит из механических компонентов, таких как искусственные пальцы и суставы. Эти компоненты спроектированы так, чтобы имитировать движения естественной руки. Они могут взаимодействовать с окружающим миром, позволяя захватывать, сжимать и освобождать объекты, а также выполнять другие движения, такие как поворот кисти и сгибание пальцев. Механизмы протеза могут быть выполнены из различных материалов, таких как пластик, металл или композитные материалы, обеспечивая прочность и легкость конструкции.

Было принято решение выбрать готовый протез с системой голосового управления и заменить его на систему дистанционного управления, используя перчатку с датчиками изгиба.

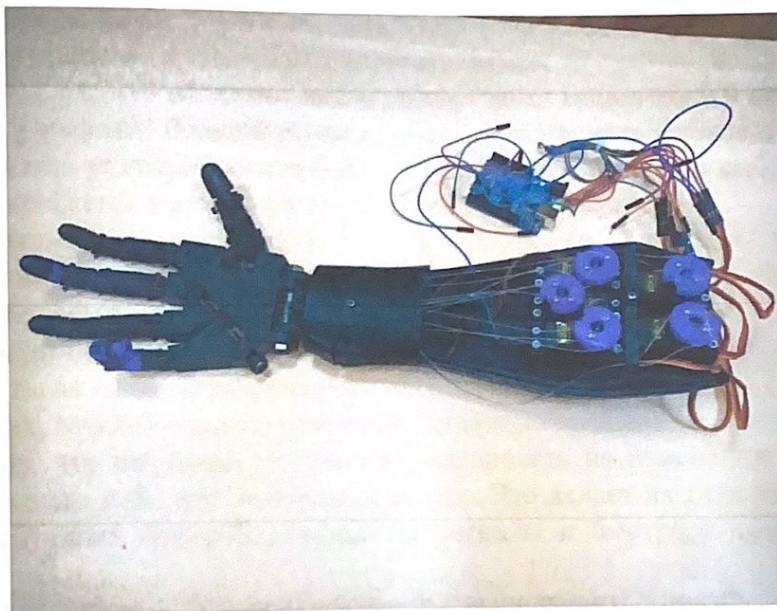


Рисунок 2.1 – Бионическая рука с голосовым управлением

Для управления движениями пальцев протеза используются сервоприводы. Они способны точно управлять углом поворота и позицией механических компонентов протеза. Они могут быть размещены в различных частях руки и контролировать их движения. Сервоприводы обеспечивают точное и плавное управление движениями руки, позволяя протезу имитировать естественные движения руки, такие как захват объектов разной формы и размера. Выбраны сервоприводы модели MG995.



Рисунок 2.2 – Сервопривод MG995

Выбор сервоприводов MG995 обладает несколькими техническими преимуществами, которые делают их привлекательным выбором для различных проектов, требующих использования сервомеханизмов.

Во-первых, MG995 обладают высоким крутящим моментом в 9 кг*см, что позволяет им управлять большими нагрузками и выполнить сложные задачи, такие как движение руки или ноги робота. Это делает их идеальным выбором для проектов, где требуется высокая точность движения.

Во-вторых, эти сервоприводы имеют широкий диапазон рабочего напряжения, от 4,8 до 7,2 вольт, что дает возможность использовать их с различными источниками питания, включая батареи и адаптеры переменного тока. Это обеспечивает удобство и гибкость в выборе источника питания и снижает затраты на дополнительные компоненты.

В-третьих, MG995 обладают высокой скоростью вращения в 0,17 секунды на 60 градусов, что позволяет им быстро реагировать на изменения условий окружающей среды и быстро выполнять задачи. Это делает их полезными для проектов, требующих быстрой реакции на сигналы и быстрого выполнения задач.

Для управления сервоприводами и выполнения других функций бионической руки используются электронные контроллеры, такие как микроконтроллеры Arduino. Эти контроллеры принимают сигналы от датчиков, обрабатывают их и передают управляющие сигналы сервоприводам, регулируя их движения в соответствии с заданными параметрами. Они также могут включать интерфейсы для взаимодействия с другими устройствами или программным обеспечением, например, для управления протезом с помощью компьютера или мобильного устройства. Принято решение использовать два микроконтроллера Arduino Uno для управления.

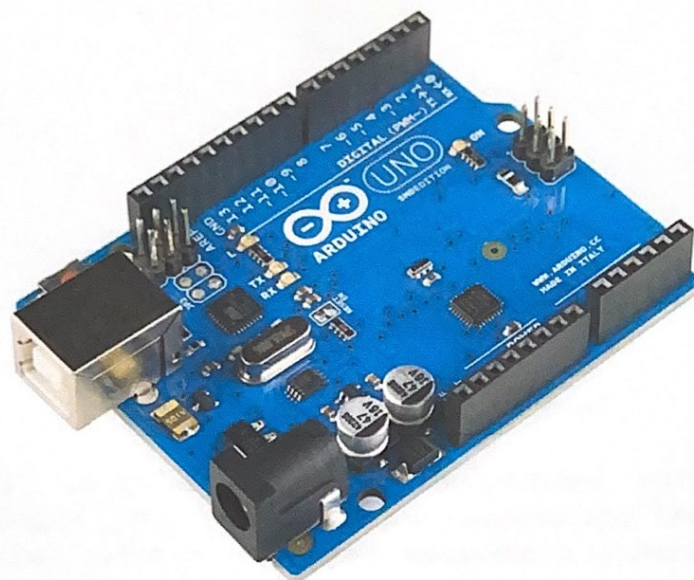


Рисунок 2.3 – Аппаратная платформа Arduino Uno Rev

Две модули Bluetooth HC-05 которые, используются для беспроводной связи между бионической рукой и перчаткой. Модули Bluetooth позволяют передавать данные и команды между устройствами через беспроводное соединение. Для того чтобы два Bluetooth модуля могли подключаться друг к другу, необходимо настроить один модуль в режим Master, а другой модуль в режим Slave. Модуль, находящийся в режиме Master, отвечает за инициирование соединения с другим модулем и управление процессом передачи данных. Модуль, находящийся в режиме Slave, принимает запрос на соединение и устанавливает соединение с модулем в режиме Master.



Рисунок 2.4 – Bluetooth модуль HC-05

Источники питания: для питания бионической руки необходимы источники питания, такие как батареи или аккумуляторы. Они могут быть выбраны в зависимости от требований мощности и длительности работы бионической руки. Важно выбрать надежные и безопасные источники питания, чтобы обеспечить стабильное питание для всех компонентов протеза. Выбран постоянный источник питания адаптер afkas–nova. С выходным напряжением 5 вольт.

Для управление протезом необходим еще одно устройство перчатка с датчиками изгиба. Эти датчики могут быть размещены на перчатке на соответствующих местах, чтобы регистрировать движения и изгибы руки пользователя. Информация от датчиков может быть передана на контроллер бионической руки, который анализирует эти данные и соответствующим образом управляет движениями сервоприводов.

В качестве датчиков используются датчики изгиба на основе графитового сопротивления, чтобы удешевить процесс изготовления.

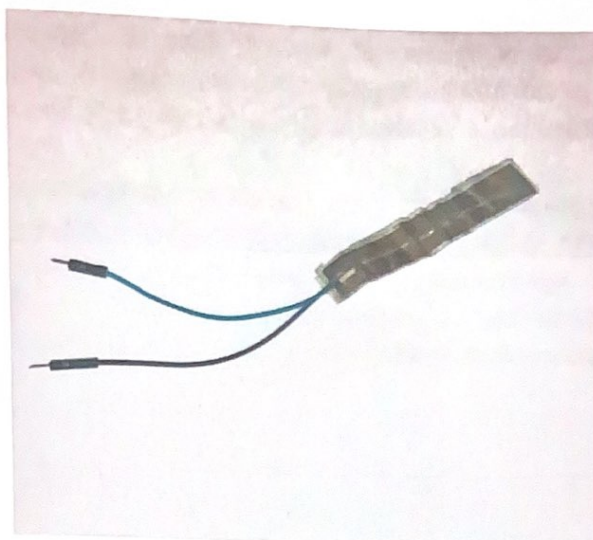


Рисунок 2.5 – Датчик изгиба

Датчик изгиба из фольги и бумаги, покрытой слоем проводящего материала угольного карандаша, основан на изменении электрического сопротивления в зависимости от степени изгиба материала.

Фольга имеет электрическое сопротивление, которое изменяется при изменении ее формы. При изгибе фольги происходят изменения в физической структуре материала, что влияет на концентрацию свободных электронов и электрический поток через материал.

Графитовое покрытие, состоящее из проводящего материала, наносится на поверхность бумаги. В данном случае уголь является проводником электричества и создает электрическую связь между молекулами фольги.

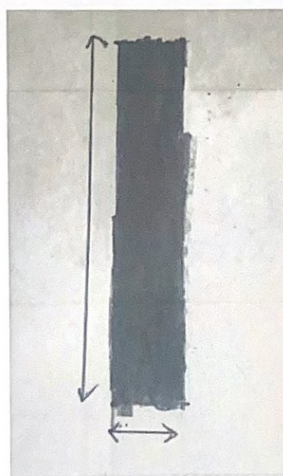


Рисунок 2.6 – Графитовый прямоугольник

Изменение формы датчика изгиба приводит к деформации фольги и покрытия карандаша. В результате происходят разрывы и сжатие контактов между угольными частицами, что приводит к изменению электрического сопротивления.

Для использования датчика изгиба в конкретном приложении необходима калибровка. Это включает выполнение серии измерений при различных углах изгиба и запись соответствующих значений сопротивления. Затем эти значения могут быть интерпретированы в соответствии с требованиями приложения, например, для определения угла изгиба или уровня деформации.

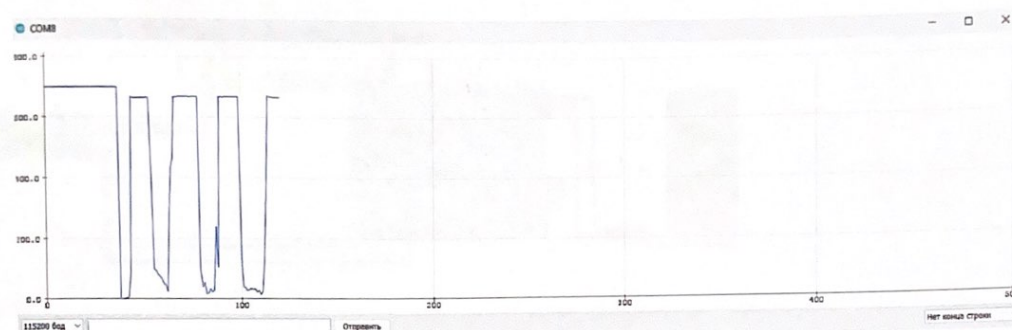


Рисунок 2.7 – Мониторинг изменение значений датчика

При создании схему подключение протеза руки и перчатки с датчиками изгиба была задействовано программное обеспечение Fritzing.

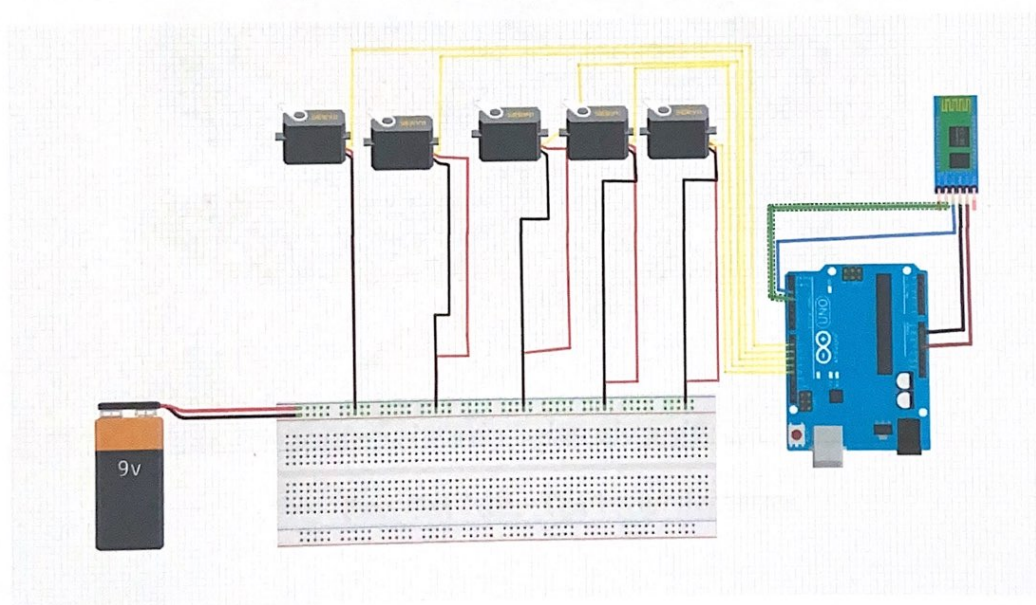


Рисунок 2.8 – Схема подключения протеза руки

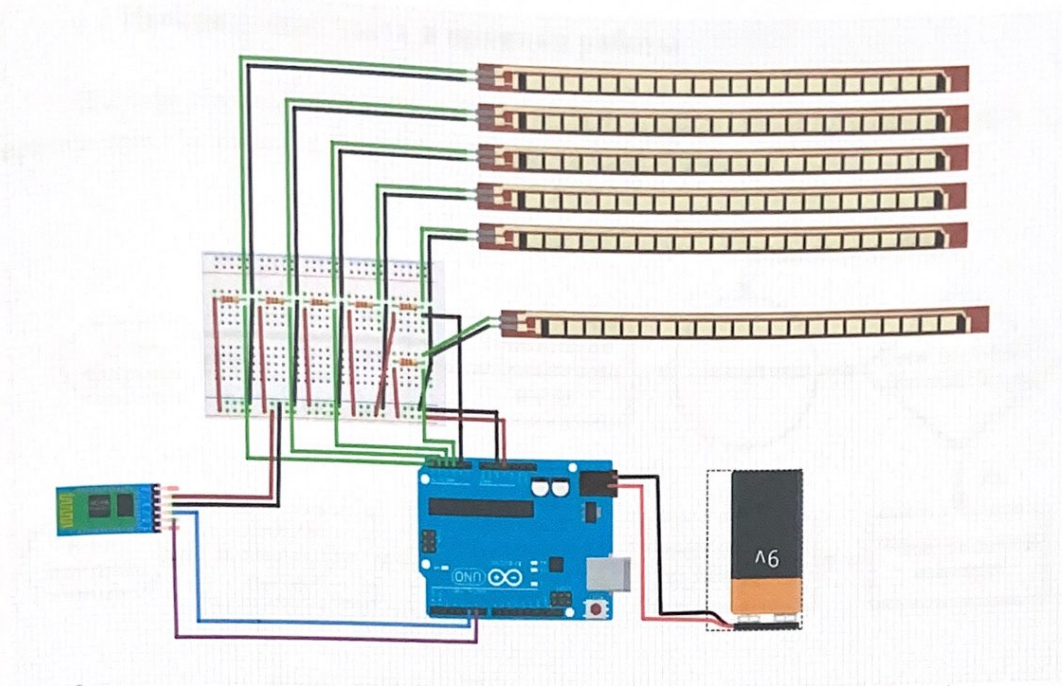


Рисунок 2.9 – Схема подключения перчатки с датчиками изгиба

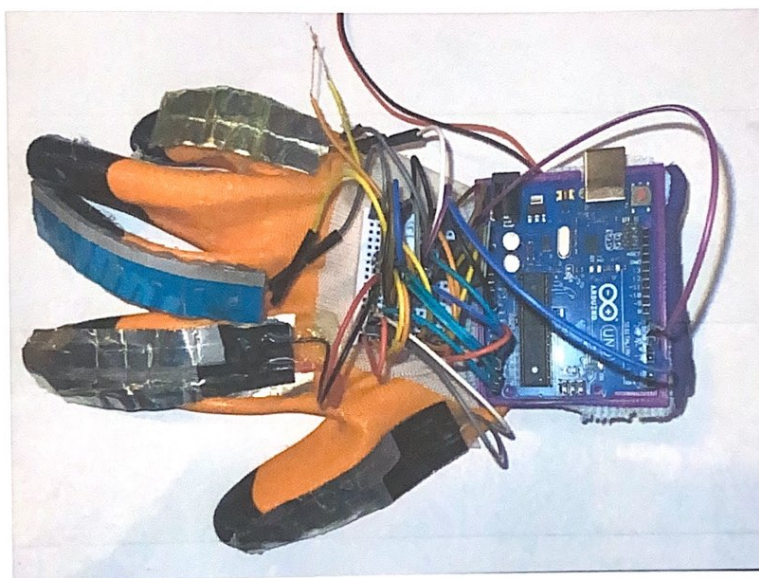


Рисунок 2.10 – Прототип перчатки

2.2 Программная часть и принцип работы

В среде программирования Arduino IDE пишем две программы, один для протеза руки и второй для перчатки с датчиками изгиба.

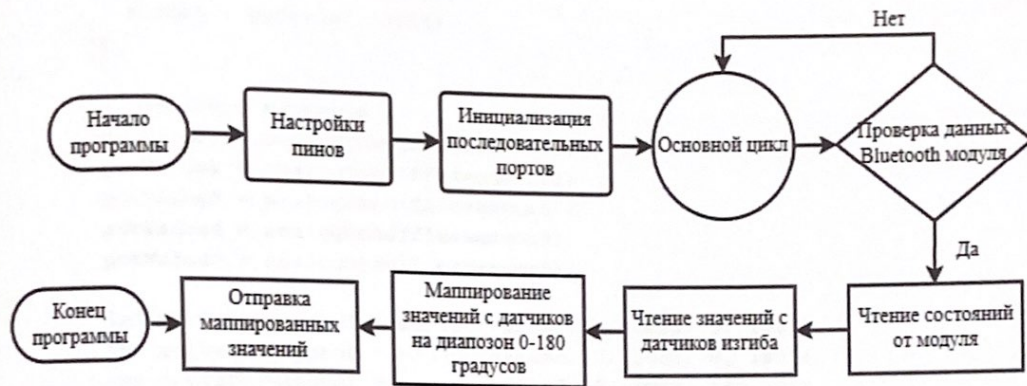


Рисунок 2.11 – Блок-схема программы перчатки


```

void loop() { //проверка данных из Bluetooth модуля
  if (mySerial.available() > 0) {
    state1 = mySerial.read();
    state2 = mySerial.read();
    state3 = mySerial.read();
    state4 = mySerial.read();
    state5 = mySerial.read();
  }

  // Чтение с датчиков
  potValue1 = analogRead(flexsensor1);
  potValue2 = analogRead(flexsensor2);
  potValue3 = analogRead(flexsensor3);
  potValue4 = analogRead(flexsensor4);
  potValue5 = analogRead(flexsensor5);

  int potValueMapped1 = map(potValue1, 0, 1023, 0, 180);
  int potValueMapped2 = map(potValue2, 0, 1023, 0, 180);
  int potValueMapped3 = map(potValue3, 0, 1023, 180, 0);
  int potValueMapped4 = map(potValue4, 0, 1023, 0, 180);
  int potValueMapped5 = map(potValue5, 0, 1023, 0, 180);

  mySerial.write(potValueMapped1); // Отправлять potValue1 в servo1
  mySerial.write(potValueMapped2); // Отправлять potValue2 в servo2
  mySerial.write(potValueMapped3); // Отправлять potValue3 в servo3
  mySerial.write(potValueMapped4); // Отправлять potValue4 в servo4
  mySerial.write(potValueMapped5); // Отправлять potValue5 в servo5

  delay(300);
}

```

Рисунок 2.12 – Листинг кода программы перчатки

Данный код представляет собой программу для Arduino, которая использует библиотеку SoftwareSerial для установки последовательного соединения с Bluetooth-модулем. Она считывает данные из Bluetooth-модуля и передает их на пять аналоговых пинов (flexsensor1-5) для чтения значений с гибких датчиков.

В функции setup() происходит инициализация пинов ввода и вывода, начало последовательной связи с монитором порта (Serial) и Bluetooth-модулем (mySerial).

В функции loop() происходит основная работа программы, которая выполняется в бесконечном цикле. Сначала проверяется наличие данных в буфере Bluetooth-модуля с помощью mySerial.available(). Если данные доступны, они считываются в переменные state1-5.

Затем происходит чтение значений с гибких датчиков (flexsensor1-5) с помощью функции analogRead(). Значения с датчиков затем масштабируются с помощью функции map() для преобразования диапазона значений (0-1023) в

диапазон углов поворота сервопривода (0-180 градусов). Полученные значения сохраняются в переменные `potValueMapped1-5`.

Далее, с помощью `mySerial.write()`, значения `potValueMapped1-5` отправляются на Bluetooth-модуль для управления соответствующими сервоприводами.

С помощью `delay(300)` задается задержка в 300 миллисекунд, прежде чем код начнет выполняться заново. Это необходимо для обеспечения задержки между итерациями цикла и стабильности работы программы.

Таким образом, данный код позволяет считывать данные с гибких датчиков и отправлять их на Bluetooth-модуль для управления сервоприводами.



Рисунок 2.13 – Блок схема программы протеза руки для управление сервоприводами


```

void loop() {
  if (mySerial.available() > 0) {
    finger_thumbState = mySerial.read();
    finger_indexState = mySerial.read();
    finger_middleState = mySerial.read();
    finger_ringState = mySerial.read();
    finger_littleState = mySerial.read();

    Serial.print("Servo1: ");
    Serial.println(finger_thumbState);
    Serial.print("Servo2: ");
    Serial.println(finger_indexState);
    Serial.print("Servo3: ");
    Serial.println(finger_middleState);
    Serial.print("Servo4: ");
    Serial.println(finger_ringState);
    Serial.print("Servo5: ");
    Serial.println(finger_littleState);
  }

  servo1.write(finger_thumbState);
  servo2.write(finger_indexState);
  servo3.write(finger_middleState);
  servo4.write(finger_ringState);
  servo5.write(finger_littleState);

  delay(300);
}

```

Рисунок 2.14 – Листинг кода программы протеза руки для управление сервоприводами

Данный код представляет собой программу для Arduino, которая использует библиотеки SoftwareSerial и Servo для управления пятью сервоприводами с помощью Bluetooth-модуля.

В начале программы объявляются переменные для представления пинов RX и TX для соединения с Bluetooth-модулем с помощью библиотеки SoftwareSerial. Затем создаются объекты сервоприводов для каждого пальца с помощью библиотеки Servo.

В функции setup() происходит инициализация пинов сервоприводов с помощью attach(). Затем инициализируются монитор порта (Serial) и Bluetooth-модуль (mySerial).

В функции loop() происходит основная работа программы, которая выполняется в бесконечном цикле. Если данные доступны в буфере Bluetooth-модуля, они считываются в переменные finger_thumbState-5 с помощью

`mySerial.read()`. Значения этих переменных представляют углы поворота сервоприводов.

Затем значения углов выводятся в монитор порта с помощью `Serial.print()` и `Serial.println()`, чтобы можно было отслеживать их значения при работе программы.

Значения углов поворота `finger_thumbState-5` передаются на соответствующие сервоприводы с помощью функций `write()`. Таким образом, сервоприводы управляются на основе полученных значений углов поворота.

После этого программе задается задержка в 300 миллисекунд с помощью `delay(300)`, прежде чем код начнет выполняться заново. Это необходимо для обеспечения задержки между итерациями цикла и стабильности работы программы.

Код позволяет считывать данные с Bluetooth-модуля и управлять пятью сервоприводами на основе полученных значений углов поворота.

2.3 Результаты

Результаты создания протеза руки с дистанционным управлением с помощью перчатки с датчиками изгиба. Перчатка оснащена датчиками, которые обеспечивают измерение угла изгиба пальцев. Эти данные затем передаются на микроконтроллер, который управляет двигателями протеза.

Результаты тестирования показали, что данный протез обеспечивает хорошую точность и надежность управления движением пальцев. Он также обладает достаточно высокой скоростью движения, что позволяет пользователю быстро выполнять различные задачи.

Однако, следует отметить, что данный протез имеет некоторые недостатки. Например, он достаточно громоздкий и тяжелый, что может привести к дискомфорту при использовании. Кроме того, протез не имеет возможности выполнения более сложных движений, таких как поворот кисти и локтя. Также он не может обеспечить такую же точность и чувствительность, как при естественном движении руки.

Тем не менее, данный протез руки с дистанционным управлением с помощью перчатки с датчиками изгиба представляет собой важный шаг в развитии технологий протезирования. Он может быть полезен для людей с ограниченной подвижностью рук, таких как люди с ампутированными конечностями или с травмами рук. Данный протез может помочь им выполнять ряд повседневных задач, таких как письмо, еда и т. д., что существенно повышает их качество жизни.

Использование датчиков изгиба в протезе руки с дистанционным управлением, позволило достичь значительного прогресса в обеспечении точности и эффективности управления протезом. Каждый датчик состоит из нескольких слоев гибкой пленки, покрытых проводящим слоем (бумажка с графитовым слоем), который замыкается при изгибе пленки. Эти датчики были

расположены на перчатке, их данные поступали на микроконтроллер, который обрабатывал информацию и управлял протезом.

С помощью датчиков изгиба с графитовым сопротивлением удалось обеспечить достаточно высокую чувствительность и точность измерения угла изгиба, что в свою очередь позволило управлять протезом с большей точностью и меньшей задержкой. Кроме того, использование таких датчиков значительно упрощает конструкцию протеза, поскольку они не требуют использования дополнительных элементов для измерения угла изгиба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте был проведен анализ видов протезов-рук и выбран подход к управлению бионической рукой с помощью дистанционного управления через перчатку с датчиками изгиба. Выбор элементов управления определяется потребностями и предпочтениями пользователя, и не все элементы управления обязательны для использования.

Для реализации исследования была разработана система, включающая в себя искусственную руку, которая управляется перчаткой, оснащенной датчиками изгиба. Искусственная рука эмулирует движения руки, управляемой перчаткой, по беспроводной связи. Для реализации системы были использованы микроконтроллеры Arduino для управления и обработки данных.

Для создания датчиков изгиба была использована тонкая проволока, закрепленная на гибких материалах, которые позволяют проволоке изгибаться при изменении формы пальцев. Каждый датчик изгиба подключен к АЦП микроконтроллера Arduino, который обрабатывает данные датчиков и определяет угол изгиба пальцев.

Реализованная система управления бионической рукой позволяет пользователю выполнить широкий спектр движений, таких как сжатие, разжимание, поворот и захват предметов, используя моторы, расположенные в искусственной руке. Благодаря беспроводной связи, управление рукой можно осуществлять на расстоянии.

Список использованной литературы

- [1] Протезы рук. Виды и особенности. Электронный ресурс, URL: <https://health-ukraine.com.ua/protez-ruki/>
- [2] Протезы рук. Официальный сайт Novea. Электронный ресурс, URL: <https://novea.moscow/prosthesis/hand/model-718-719/>
- [3] Современный и легкий протез предплечья. Электронный ресурс, URL: <https://motorica.org/prosthetics/upper-limb/cybi-hand>
- [4] Luke Arm. Upper Limb Prosthetics. Электронный ресурс, URL: <https://www.thelondonprosthetics.com/prosthetic-solutions/upper-limb/bionics/luke-arm/>
- [5] Рубцов В. В., Васина Л. Г., Куравский Л. С., Соколов В. В. Модельный образец специальных образовательных условий для получения высшего образования студентами с инвалидностью: опыт создания и применения // Психологическая наука и образование. 2017. Т. 22. № 1. С. 34–49.
- [6] Калтаева Л. М., Оценка потребностей по социальным и гендерным вопросам людей с инвалидностью в Казахстане с акцентом на особые нужды женщин с инвалидностью, подвергшихся насилию.
- [7] Mbionics, Официальный сайт. Электронный ресурс, URL: <https://mbionics.kz/#news>
- [8] А.В. Панов, К.А. Миндров, А.А. Кузнецов, Система управления бионическим протезом на основе электромиографии. Электронный ресурс, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-upravleniya-bionicheskim-protezm-na-osnove-elektromiografii/viewer>
- [9] R.Venkatagiri, Athul Anish, Sujan.S, Gokul.S. Design And Development of Bionic Hand Using Voice Control. Электронный ресурс, URL: <https://www.ijisrt.com/design-and-development-of-bionic-hand-using-voice-control>
- [10] Tactile Telerobot brings human-like dexterity to robots by Oliver Mitchell. Электронный ресурс, URL: <https://www.therobotreport.com/tactile-telerobot-human-like-dexterity-robots/>
- [11] DEKA bionic arm. Электронный ресурс, URL: <https://www.wevolver.com/specs/deka.bionic.arm>
- [12] Воротников С.А., Струнин В.С., Выборнов Н.А., Биометрическая система управления протезов руки. Электронный ресурс, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biometricheskaya-sistema-upravleniya-protezm-ruki/viewer>

Приложение А

Код

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(5, 6); // RX, TX

// Объявляются переменные
int flexsensor1 = A5;
int flexsensor2 = A4;
int flexsensor3 = A3;
int flexsensor4 = A2;
int flexsensor5 = A1;

int state1 = 0;
int state2 = 0;
int state3 = 0;
int state4 = 0;
int state5 = 0;
int potValue1 = 0;
int potValue2 = 0;
int potValue3 = 0;
int potValue4 = 0;
int potValue5 = 0;

void setup() {
  pinMode(flexsensor1, INPUT);
  pinMode(flexsensor2, INPUT);
  pinMode(flexsensor3, INPUT);
  pinMode(flexsensor4, INPUT);
  pinMode(flexsensor5, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
  delay(100);
}

void loop() { //проверка данных из Bluetooth модуля
  if (mySerial.available() > 0) {
    state1 = mySerial.read(); // Чтение состояние для сервоприводов
    state2 = mySerial.read();
    state3 = mySerial.read();
    state4 = mySerial.read();
    state5 = mySerial.read();
  }
}
```


Продолжение приложения А.1

```
// Чтение с датчиков
potValue1 = analogRead(flexsensor1);
potValue2 = analogRead(flexsensor2);
potValue3 = analogRead(flexsensor3);
potValue4 = analogRead(flexsensor4);
potValue5 = analogRead(flexsensor5);

//Мappирование значений на диапазон 0-180
int potValueMapped1 = map(potValue1, 0, 1023, 0, 180);
int potValueMapped2 = map(potValue2, 0, 1023, 0, 180);
int potValueMapped3 = map(potValue3, 0, 1023, 180, 0);
int potValueMapped4 = map(potValue4, 0, 1023, 0, 180);
int potValueMapped5 = map(potValue5, 0, 1023, 0, 180);

//Отправка значений на сервоприводы через bluetooth
mySerial.write(potValueMapped1); // Отправлять potValue1 в servo1
mySerial.write(potValueMapped2); // Отправлять potValue2 в servo2
mySerial.write(potValueMapped3); // Отправлять potValue3 в servo3
mySerial.write(potValueMapped4); // Отправлять potValue4 в servo4
mySerial.write(potValueMapped5); // Отправлять potValue5 в servo5

delay(300);
}

#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(5, 6); // RX, TX

#include <Servo.h>
Servo finger_thumb; // Объект для управления сервоприводами пальцев
Servo finger_index;
Servo finger_middle;
Servo finger_ring;
Servo finger_little;

// Переменная для хранения состояния сервопривода
int finger_thumbState; //servonstate
int finger_indexState;
int finger_middleState;
int finger_ringState;
int finger_littleState;

void setup() {
```

Продолжение приложения А.2

```
//Подключение сервоприводов
finger_thumb.attach(13);
finger_index.attach(12);
finger_middle.attach(11);
finger_ring.attach(10);
finger_little.attach(9);

Serial.begin(9600);
mySerial.begin(9600);
delay(100);
}

void loop() {
  if (mySerial.available() > 0) { // Если доступны данные из Bluetooth модуля

    // Считывание состояний сервоприводов
    finger_thumbState = mySerial.read();
    finger_indexState = mySerial.read();
    finger_middleState = mySerial.read();
    finger_ringState = mySerial.read();
    finger_littleState = mySerial.read();

    Serial.print("Servo1: ");
    Serial.println(finger_thumbState);
    Serial.print("Servo2: ");
    Serial.println(finger_indexState);
    Serial.print("Servo3: ");
    Serial.println(finger_middleState);
    Serial.print("Servo4: ");
    Serial.println(finger_ringState);
    Serial.print("Servo5: ");
    Serial.println(finger_littleState);
  }

  // Установка позиции сервоприводов
  servo1.write(finger_thumbState);
  servo2.write(finger_indexState);
  servo3.write(finger_middleState);
  servo4.write(finger_ringState);
  servo5.write(finger_littleState);

  delay(300);}
}
```