

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»

Марат Алдияр Оразғалиұлы

Разработка интеллектуального протеза с использованием сенсорных систем

Дипломный проект

Образовательная программа: 6B07114 Биомедицинская инженерия

Алматы 2025

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой РТиТСА

канд. тех. наук, профессор

К.А. Ожигенов

«05» 06 2025г.

Дипломный проект

На тему: «Разработка интеллектуального протеза с использованием сенсорных систем»

Образовательная программа: 6B07114 Биомедицинская инженерия

Выполнил

Рецензент

РиФ, ассоциированный профессор

Ж. Н. Алимбаева

«05» 06 2025 г.

Марат Алдияр Оразғалиұлы

Научный руководитель

Магистр технических наук, преподаватель

Е.А. Игембай

«05» 06 2025 г.

Алматы 2025

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА»

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»


УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой РТиТСА
канд. тех. наук, профессор
К.А. Ожикенов
«05» 06 2025г

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающиеся: Марат Алдияр Оразғалиұлы

Тема: Разработка интеллектуального протеза с использованием сенсорных систем

Утверждена приказом проректора по академической работе:

№ <u>521-П/0</u>	<u>15.11.2024</u>
Срок сдачи законченного проекта	« <u>29</u> » <u>05.</u> 2025 г.

Исходные данные к дипломному проекту:

- А) Проведён анализ анатомической структуры руки;
- Б) Подобраны и протестированы основные электронные компоненты;
- В) Создана 3D-модель бионической руки;
- Г) Реализована система управления на базе ЭКГ-сигналов;
- Д) Напечатаны и собраны компоненты протеза;
- Е) Проведено тестирование работоспособности протеза

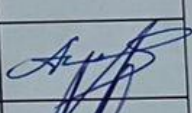
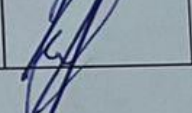
Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов: (с точным указанием обязательных чертежей): представлены ____ слайда презентации. Рекомендуемая основная литература: из ____ наименований.

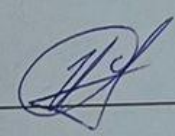
ГРАФИК
подготовка дипломного проекта

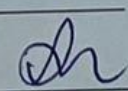
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
1. Проведён анализ анатомической структуры руки	05.11.2024 – 1.02.2025	Выполнено
2. Подобраны и протестированы основные электронные компоненты	11.02.2025 – 14.03.2025	Выполнено
3. Создана 3D-модель бионической руки	17.03.2025 – 20.4.2025	Выполнено
4. Реализована система управления на базе ЭКГ-сигналов	21.04.2025 – 10.05.2025	Выполнено
5. Напечатаны и собраны компоненты протеза	11.05.2025 – 24.05.2025	Выполнено
6. Проведено тестирование работоспособности протеза	24.05.2025 – 30.05.2025	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием
относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты И.О.Ф. (уч.степень.звание)	Дата подписания	Подпись
Программное обеспечение	Аймуханбетов Е.А. Ст.преподаватель	5.06.2025	
Нормоконтролер	Кальменов Е. Т. Ст.преподаватель	05.06.2025	

Научный руководитель  Игембай Е. А.

Задание принял к исполнению обучающийся  Марат А.О.

Дата «05» 06 2025 г

АННОТАЦИЯ

Данная работа отведена теме, затрагивающая разработку прототипа бионической руки, управление которой осуществимо посредством ЭКГ-датчиков и микроконтроллера Arduino.

Ключевой целью проекта является создание протеза верхней конечности, приспособленный абсолютно точно воспроизводить деятельность человеческой руки. Также, в рамках исследования работы мною был проведен полный анализ анатомической структуры человеческой руки, учитывая все естественные строения и пропорциональные соотношения. Благодаря вышеупомянутой части работы, удалось реализовать анатомически достоверное конструирование внешнего и внутреннего каркаса.

В данной разработке я применил ЭКГ - датчики, для управления движениями руки-протеза.

Итоги проведенной работы наглядно показывают успешный союз бионической механики, электроники и сенсорных технологий. Представленный проект в преимуществе может использоваться для более масштабных исследований в биомедицинской инженерии, ориентированных на повышение уровня качества жизни людей с ограниченными двигательными возможностями.

ANNOTATION

This work is devoted to the topic of developing a prototype of a bionic hand, the control of which is possible via ECG sensors and an Arduino microcontroller.

The key goal of the project is to create an upper limb prosthesis adapted to accurately reproduce the activity of a human hand. Also, as part of the research work, I conducted a complete analysis of the anatomical structure of the human hand, taking into account all natural structures and proportional relationships. Thanks to the above-mentioned part of the work, it was possible to implement an anatomically reliable design of the external and internal frames.

In this development, I used ECG sensors to control the movements of the prosthetic hand.

The results of the work clearly demonstrate the successful union of bionic mechanics, electronics and sensor technologies. The presented project can be advantageously used for larger-scale research in biomedical engineering, aimed at improving the quality of life of people with limited motor abilities.

АҢДАТПА

Бұл жұмыс ЭКГ сенсорлары мен Arduino микроконтроллері арқылы басқаруға болатын бионикалық қолдың прототипін жасау тақырыбына арналған. Жобаның негізгі мақсаты – адам қолының белсенділігін дәл ойнатуға бейімделген жоғарғы қол протезін жасау. Сондай-ақ, ғылыми-зерттеу жұмысының аясында мен адам қолының анатомиялық құрылымына барлық табиғи құрылымдар мен пропорционалдық қатынастарды ескере отырып, толық талдау жасадым. Жұмыстың жоғарыда аталған бөлігінің арқасында сыртқы және ішкі рамалардың анатомиялық сенімді дизайнын жүзеге асыру мүмкін болды.

Бұл дамуда мен протездік қолдың қозғалысын бақылау үшін ЭКГ сенсорларын қолдандым.

Жұмыстың нәтижелері бионикалық механика, электроника және сенсорлық технологиялардың табысты бірлестігін айқын көрсетеді. Ұсынылған жоба моторлық қабілеті шектеулі адамдардың өмір сүру сапасын жақсартуға бағытталған биомедициналық инженериядағы ауқымды зерттеулер үшін тиімді пайдаланылуы мүмкін.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение
 - 1.1. Актуальность темы
 - 1.2. Цель и задачи проекта
 - 1.3. Объект и предмет исследования
 - 1.4. Методы исследования
 - 1.5. Структура работы
2. Теоретическая часть
 - 2.1. Обзор бионических протезов
 - 2.1.1 История развития бионических протезов
 - 2.1.2 Современные технологии в протезировании
 - 2.2. Принципы работы ЭКГ-сигналов и их применение в управлении устройствами
 - 2.2.1 Основы электромиографии (ЭМГ) и ЭКГ
 - 2.2.2 Особенности обработки сигналов
 - 2.3. Микроконтроллеры в робототехнике. Обзор микроконтроллеров (Arduino, RaspberryPi и др.)
 - 2.4. Применение сервоприводов в робототехнике. Принцип работы сервоприводов
3. Выбор компонентов
 - 3.1 ЭКГ-датчики
 - 3.2 Сервоприводы
 - 3.3 Микроконтроллер Arduino
 - 3.4 Материалы для корпуса (3D-печать)
4. Проектная часть.
 - 4.1 Разработка конструкции бионической руки
 - 4.2 Управление прототипом
- Заключение
- Список литературы
- Приложение А: Схемы подключения
- Приложение Б: Программный код

Введение

Развитие технологий в области биомедицинской инженерии открывает новые возможности для восстановления утраченных функций человеческого тела. Одним из наиболее перспективных направлений является создание интеллектуальных протезов, способных не только воспроизводить движение, но и взаимодействовать с пользователем на основе обратной связи. Такие системы призваны значительно повысить качество жизни людей с ампутацией конечностей, обеспечивая более естественное и адаптивное поведение протеза.

Современные протезы все чаще включают сенсорные системы, которые фиксируют параметры окружающей среды, силу давления, положение и другие характеристики взаимодействия с объектами. Интеграция датчиков позволяет устройству адаптироваться к различным условиям и реагировать на действия пользователя в режиме реального времени. Благодаря применению микроконтроллеров и алгоритмов обработки сигналов такие протезы становятся не просто механическими устройствами, а элементами кибернетической системы с элементами искусственного интеллекта.

Внедрение интеллектуальных протезов с сенсорной обратной связью требует комплексного подхода, сочетающего мехатронный дизайн, электронику и программное обеспечение. Разработка подобных решений способствует прогрессу в медицинской реабилитации, повышает уровень автономности пациентов и приближает взаимодействие между человеком и машиной к естественным физиологическим процессам.

1.1. Актуальность темы

Разработка умных протезов с сенсорными системами — это прямо-таки горячая тема, и вот почему. В мире полно людей, которые из-за травм, болезней или врожденных проблем остались без рук или ног. Представьте: миллионы людей каждый день сталкиваются с трудностями в простых вещах — взять чашку, застегнуть куртку, написать что-то или даже поработать с инструментами. Обычные протезы, конечно, помогают, но они часто как деревянная нога — неуклюжие, неудобные и не дают того чувства, будто это твоя собственная рука или нога. А вот интеллектуальные протезы — совсем другое дело. Они могут "учиться" и подстраиваться под человека, чтобы движения были плавными и естественными. Это реально может изменить жизнь!

Такие протезы не просто помогают двигаться, они дают людям ощущение, что они снова управляют своим телом. Это очень важно не только для физической активности, но и для психики. Ведь когда человек теряет конечность, это не только физическая проблема. Многие начинают чувствовать себя не в своей тарелке: депрессия, тревога, ощущение, что ты "не такой, как все". А если протез работает так, что ты почти не замечаешь разницы, это помогает чувствовать себя увереннее, общаться с людьми, возвращаться к нормальной жизни. Плюс, такие устройства могут давать обратную связь — например, ты чувствуешь, что держишь что-то в руке, и это реально круто.

С точки зрения технологий, такие протезы — это просто прорыв. Чтобы сделать что-то подобное, нужно объединить кучу наук: электронику, программирование, материаловедение, биотехнологии и даже нейрофизиологию. Представляете, как сложно создать устройство, которое понимает сигналы твоего тела и реагирует на них, как настоящая рука? Это как маленький робот, который работает в связке с человеком.

Проблема людей с ампутацией — это не просто медицинская тема, это еще и социальная, и технологическая задача. По данным Всемирной организации здравоохранения, больше 30 миллионов человек по всему миру нуждаются в протезах. И каждый год сотни тысяч людей теряют конечности — из-за аварий, болезней вроде диабета или даже военных конфликтов. В местах, где идут боевые действия, таких как Украина или страны Африки, число таких случаев растет из-за взрывов и травм. В развивающихся странах дела обстоят еще хуже

— там доступ к нормальным протезам и реабилитации почти нулевой. А ведь людям нужно не только само устройство, но и поддержка: медицинская, психологическая, да и финансовая, потому что хорошие протезы — это недешево. В общем, это огромная проблема, которая требует комплексного подхода, чтобы люди могли жить полноценной жизнью. Актуальность разработки интеллектуальных протезов также обусловлена высокой стоимостью классических решений и ограниченным доступом к реабилитации в развивающихся странах [5].

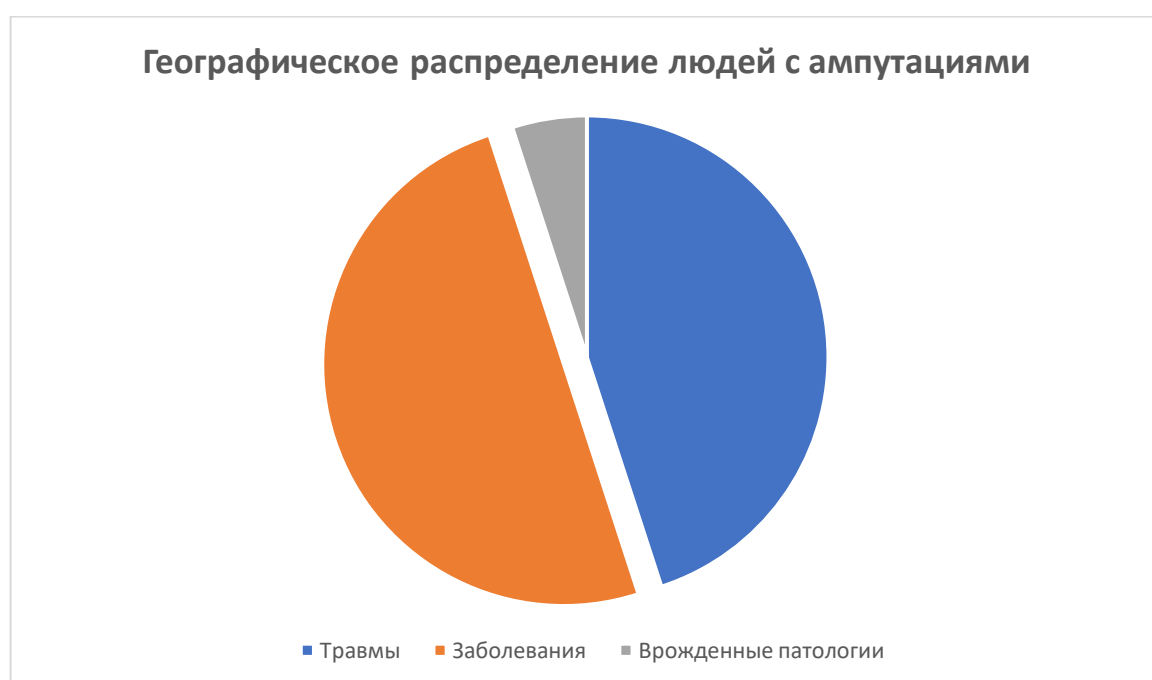


Рисунок 1. Визуализация статистики по людям с ампутациями конечностей в мире

- травмы: 45%
- заболевания: 50%
- врожденные патологии: 5%

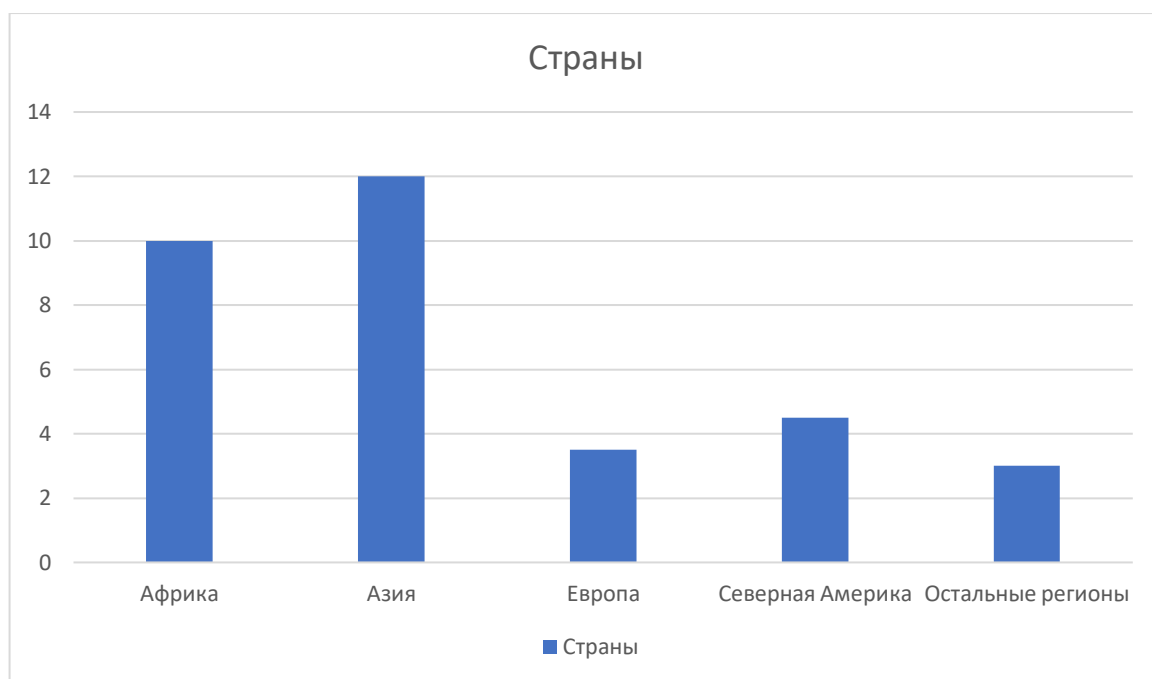


Рисунок 2. Географическое распределение людей с ампутациями

Люди, потерявшие руку, сталкиваются с кучей проблем. Во-первых, физические трудности: попробуй-ка застегнуть пуговицы, поесть нормально или написать что-то от руки, когда у тебя нет конечности. Это реально выбивает из колеи. Во-вторых, психологические сложности. Многие начинают чувствовать себя не в своей тарелке, впадают в депрессию, переживают из-за того, что не могут быть "как все", или вообще замыкаются в себе. И, в-третьих, экономический вопрос. Хороший протез стоит как крыло самолета, а еще реабилитация, врачи, процедуры — все это тянет кучу денег.

Почему эта проблема так важна? Тут дело не только в медицине. Это про то, чтобы каждый человек мог жить полноценной жизнью, независимо от того, есть у него рука или нет. Создание удобных, умных и доступных протезов — это шаг к миру, где все равны и у каждого есть шанс проявить себя. Чтобы это получилось, нужно объединить усилия врачей, инженеров, программистов и даже государства. Все должны работать вместе, чтобы такие протезы стали реальностью.

Кстати, с деньгами тоже не все так просто. Да, разработка умных протезов — это дорогое удовольствие. Но если их начнут производить массово, цена может серьезно упасть. Это особенно важно для развивающихся стран, где сейчас многие просто не могут себе позволить нормальный протез. А еще такие устройства помогают быстрее вернуться к обычной жизни — начать работать, заниматься делами, а не сидеть годами на реабилитации. В итоге это может сэкономить кучу денег и на лечении, и на социальной поддержке. Так что умные

протезы — это не только про здоровье, но и про возможность жить активно и не зависеть от обстоятельств.

1.2 Цель и задачи проекта

В рамках нашего проекта мы хотим сделать не просто протез руки, а что-то гораздо более продвинутое и «живое». Представьте, что человек по какой-то причине потерял руку. Это, конечно, очень тяжёлое испытание не только физически, но и морально. И вот наша задача создать такую «руку», которая не просто будет висеть и выполнять базовые функции, а станет настоящим помощником и даже, можно сказать, продолжением тела.

Мы хотим, чтобы этот протез был максимально современным со всякими умными штуками внутри: сенсоры, сервомоторы, элементы искусственного интеллекта, система, которая может обучаться и подстраиваться. Всё это нужно для того, чтобы человеку с таким протезом было комфортно не просто брать и держать предметы, но и чувствовать их буквально. Например, понимать, насколько предмет мягкий, горячий, скользкий или хрупкий. Это уже не просто механическая клешня, а что-то гораздо ближе к настоящей руке.

Очень важно, чтобы взаимодействие с таким устройством не вызывало дискомфорта. Хочется, чтобы человек мог пользоваться им так же естественно, как своей рукой, не задумываясь каждый раз, что и как нужно сделать. Например, прикоснулся к чашке и сразу понял, насколько она тёплая. Взял что-то и рука сама «почувствовала», с какой силой нужно сжать, чтобы ничего не раздавить. Всё это благодаря сенсорной системе, которая как бы даёт «обратную связь».

А ещё крутая штука — это обучение. Мы хотим, чтобы протез со временем сам подстраивался под человека. То есть, чем дольше им пользуешься, тем лучше он начинает понимать тебя: как ты двигаешься, какие у тебя привычки, как ты обычно берёшь предметы. Машинное обучение тут работает как тренер, анализирует, делает выводы и улучшает поведение устройства.

В общем, мы хотим создать не просто очередной протез, а что-то, что поможет человеку вернуться к полноценной, активной жизни. Чтобы не было страха, что не справишься, не сможешь, а наоборот, появилось ощущение уверенности, комфорта и свободы.

1.3 Объект и предмет исследования

Объектом исследования в данной работе типа является процесс разработки, это такой ну интеллектуальный протез руки, который, скажем так оснащён разными сенсорными системами и способен в целом воспроизводить более такие менее естественные движения. Если говорить это позволяет обеспечить обратную связь с пользователем что, по сути, очень важно. В рамках

этого исследования рассматриваются не только технические аспекты создания самого протеза, но и механические конструкции и всякие сенсорные системы и соответственно алгоритмы управления, но и так сказать медицинские моменты, которые связаны с тем, как вообще это устройство интегрируется в людском организме. Ну и конечно не обойтись без учёта индивидуальных особенностей и потребностей каждого конкретного пользователя.

Предмет исследования это такой как бы метод и технологии, которые ну используются для разработки таких вот "умных" протезов. Речь идёт, например, про сенсорные системы, которые могут распознавать биосигналы такие как электромиография и всё в этом духе. Кроме того, сюда входят системы обратной связи, различные алгоритмы машинного обучения, которые, собственно, позволяют делать управление более адаптивным. Ну и конечно важную роль играют материалы и компоненты, из которых всё это собирается, потому что нужно чтобы устройство было одновременно и лёгким, и прочным и так сказать удобным для использования каждого божьего дня.

Особое внимание типа уделяется таким вещам как повышение точности и якобы надёжности протеза, а также вопросам его доступности для разных категорий пользователей. Ну и конечно важной задачей остаётся интеграция такого устройства в обычную повседневную жизнь человека — чтобы оно не просто работало, а реально помогало и не вызывало дискомфорта в процессе использования.

1.4. Методы исследования

Чтобы разобраться с задачами и целями этой работы, мы используем несколько подходов. Вот что мы делаем:

Копаемся в теории. Это значит, что мы внимательно изучаем кучу научных статей, патентов и всяких разработок, связанных с протезами, робототехникой, биомедицинской инженерией и искусственным интеллектом. Такой подход помогает понять, что сейчас в тренде, где косяки в существующих протезах и что вообще нужно, чтобы сделать наш протез лучше.

Моделируем и проектируем. Тут мы садимся за компьютеры и создаем 3D-модели протеза с помощью специальных программ, типа CAD. Это нужно, чтобы продумать, как будет выглядеть механика протеза, и заодно разработать алгоритмы, которые будут им управлять и обрабатывать сигналы от тела.

Проверяем в деле. Это про лабораторные тесты, где мы берем прототипы протеза и смотрим, как они работают. Проверяем, насколько они удобны, точны и надежны. Тестируем сенсоры, моторчики и алгоритмы управления, чтобы все работало как надо в реальных условиях.

Учим машину думать. Здесь мы создаем и обучаем алгоритмы, которые разбираются в биосигналах, например, сигналах от мышц (ЭМГ). Это помогает протезу лучше понимать, что хочет человек, и работать более естественно.

В общем, мы комбинируем теорию, моделирование и реальные тесты, чтобы создать что-то действительно крутое и полезное.

1.5 Структура работы

Эта работа посвящена созданию инновационного интеллектуального протеза. Мы начнём с введения, где объясним, почему это важно (актуальность), что мы хотим достичь (цель), какие задачи предстоит решить, и что именно мы будем исследовать (объект и предмет исследования). Также здесь опишем, какие методы мы будем использовать.

Затем, во втором разделе, мы проанализируем существующие решения. Это значит, что мы изучим все современные технологии, которые уже используются в создании умных протезов. Мы рассмотрим их сильные и слабые стороны, чтобы понять, что уже работает хорошо, а что можно улучшить.

Следующий этап — теоретические основы. Здесь мы погрузимся в детали: как работают сенсорные системы, которые передают сигналы от тела к протезу, как обрабатываются эти сигналы с помощью специальных алгоритмов и машинного обучения, и какие технологии помогут нам создать надежную и удобную механическую конструкцию протеза.

В самом сердце работы находится разработка прототипа. Мы опишем весь процесс создания: от проектирования и выбора материалов до написания программного обеспечения, которое будет управлять протезом. Мы расскажем о каждом этапе, о трудностях, с которыми столкнулись, и о решениях, которые мы нашли.

В заключении мы подведём итоги, сделаем выводы о результатах нашей работы и предложим рекомендации для будущих улучшений и развития проекта. Наконец, в списке литературы мы укажем все источники информации, которые мы использовали в нашей работе.

2.1 Обзор бионических протезов

2.1.1 История развития бионических протезов

Начнем с того что же такое бионический протез?

Бионический протез — это высокотехнологичное устройство, которое играет важнейшую роль в жизни людей, утративших конечности или другие части тела. Он помогает восстановить утраченные функции и значительно улучшает качество жизни, позволяя человеку снова двигаться, работать и чувствовать себя полноценным. В современном мире такие протезы становятся настоящей опорой для тех, кто столкнулся с тяжёлыми потерями, возвращая им возможность жить активно и независимо. Бионический протез может по максимуму имитировать функционал утерянной конечности.

По сути, это уникальное сочетание анатомии и робототехники, где наука стремится воссоздать возможности человеческого тела с помощью технологий. У людей появляется возможность заниматься физической активностью, рисовать, ходить, бегать и даже крутить педали велосипеда.

Давайте немного углубимся в историю появления протезов. Отправимся в далёкое прошлое — во времена Древнего Египта. Кто бы мог подумать, что уже тогда люди обладали столь глубокими знаниями и находчивостью? Археологи нашли доказательства того, что египтяне создавали протезы пальцев ног, стараясь восстановить утраченные функции и облегчить передвижение. Это показывает, что стремление вернуть человеку полноценную жизнь существовало ещё тысячи лет назад. Обычно протезы делали из таких легкодоступных материалов как, дерево и металл. Но, к сожалению, данные протезы не могли выполнять полностью точный функционал.

В XVI веке рыцарь Геца потерял руку в одной из битв, и его руку заменили протезом, это позволило ему держать меч, но выполнять какие-либо конкретные движения он не мог.

В XIX веке началось развитие механики, в протезы начали внедрять такие элементы как пружины и рычаги. Например, первый протез руки, который мог двигать, пальцами был изобретен в 1812 году.

Развитию протезов в США способствовала гражданская война. Массовые травмы, потери конечностей, людям понадобилось как-то выходить с этой ситуации и протезирование не только было распространено, но еще и улучшалось. В тот момент появились протезы с кожаными ремнями и шарнирами, которые обеспечивали более точные движения.

Начало электроники и автоматизации:

Со временем в середине XX века начали внедрять протезы, которые использовали электрический двигатель. Далее создали протез, который можно было управлять с переключателя — это было примерно в 1940-х годах.

Далее начали развивать ЭМГ (электромиография). Электромиография помогала простейшие, но базовые движения, такие как открытие и закрытие кисти. Начали заменять материалы на более легкие и прочные, такие как пластик и алюминий, что так же позволило увеличить долговечность протеза. До конца 20 века протезы работали за счет системы тяг. Лишь в начале 21 века они стали представлять собой электронно-механические аппараты, которые управляются за счет считывания импульсов [7].

С конца XX по начало XXI века: появление бионических протезов

Первые бионические протезы: В 1990-х годах начали появляться первые протезы, которые уже можно было назвать бионическими. В них были внедрены микропроцессоры для обработки сигналов и управления движениями. Например, протез руки i-Limb, представленный в 2007 году, стал одним из первых бионических протезов, поступивших в массовую продажу, с возможностью отдельно управлять каждым пальцем. Это было настоящим прорывом для своего времени.

Уже в 2000-х годах началась новая эра — в конструкцию протезов стали внедрять сенсоры, которые позволяли им “взаимодействовать” с внешним миром. Благодаря этим датчикам протезы научились ощущать силу захвата и даже реагировать на температуру объектов, с которыми они соприкасались. Такие технологии сделали искусственные конечности не только функциональными, но и более “чувствительными”, приближая их к возможностям живой руки. В это время учёные начали проводить эксперименты, направленные на прямое соединение протезов с нервной системой человека. Исследователи стремились не только к управлению движениями, но и к восстановлению утраченной чувствительности.

Современные бионические протезы, такие как i-Limb Ultra от TouchBionics и HeroArm от OpenBionics, применяют электромиографию (ЭМГ) для управления движением и используют датчики обратной связи для передачи ощущений пользователю [8]. Также используются методы нейроинтерфейсов, как в LUKEArm от MobiusBionics, который подключается к нервной системе пользователя для более точного управления [8]. Достижением стал 2013 год, когда был представлен бионический протез руки, способный передавать осязательные ощущения. Это стало возможным благодаря специальным электродам, подключённым непосредственно к нервам, что позволило человеку снова чувствовать прикосновения — словно утраченная конечность вновь обрела связь с телом.

Современные бионические протезы, такие как i-Limb Ultra от TouchBionics и HeroArm от OpenBionics, применяют электромиографию (ЭМГ) для управления движением и используют датчики обратной связи для передачи ощущений пользователю [8]. Также используются методы нейроинтерфейсов,

как в LUKEArm от MobiusBionics, который подключается к нервной системе пользователя для более точного управления [8].

2.1.2 Современные технологии в протезировании

Современные бионические протезы и, честно говоря, это что-то удивительное. Это не те старые протезы, которые раньше делали просто для вида, чтобы закрыть пустое место. Сейчас это настоящие высокотехнологичные устройства, которые почти как настоящие руки или ноги. В них используется куча всего: робототехника, медицинские технологии, искусственный интеллект. Они не просто болтаются на человеке, а двигаются естественно, подстраиваются под того, кто их носит, и даже могут давать ощущения. Я попробую объяснить, что я узнал про эти протезы и какие технологии их делают такими особенными.

Эти протезы умеют учиться. В них есть искусственный интеллект, который следит за тем, как человек двигается. Например, если я часто беру кружку или открываю дверь, протез это запоминает и начинает работать точнее и быстрее. Еще я нашел, что в некоторые протезы встроена электроника, которая позволяет подключаться к интернету, управлять умными устройствами или даже оплачивать покупки через специальные модули. Представляете, протез, который сам за вас в магазине рассчитывается? Это прям как в научной фантастике.

Еще одна важная вещь, которую я узнал, — это 3D-печать. Благодаря ей протезы стали дешевле, и их можно сделать под конкретного человека, как одежду по индивидуальному заказу. Я наткнулся на проект e-NABLE, где выкладывают бесплатные чертежи для печати протезов рук на 3D-принтере. Это очень помогает людям, особенно в тех странах, где обычные протезы стоят слишком дорого.

Также я выяснил, что современные протезы могут передавать ощущения. Например, можно почувствовать, трогаешь ты что-то мягкое или твердое, горячее или холодное. Ученые из ETH Zurich, например, сделали протез, который через электроды передает сигналы в нервы, и человек реально чувствует прикосновения. А еще есть протезы, которые подключаются прямо к мозгу. Я читал, что в 2020 году показали руку, которой можно управлять, просто думая о движении, — сигналы идут через специальные электроды. Это просто невероятно!

Про электромиографию (ЭМГ)

Многие протезы работают на сигналах от мышц. Я разобрался, что датчики на коже улавливают электрические импульсы, которые появляются, когда человек напрягает мышцы в области культи. Потом эти сигналы отправляются в микропроцессор, и он превращает их в движения протеза. Вот пара примеров, которые я нашел:

i-Limb Ultra (TouchBionics) — это протез руки, где каждый палец двигается отдельно. С ним можно делать почти всё: держать чашку, печатать на компьютере или даже застегивать пуговицы.

Michelangelo (Ottobock) — тоже очень крутой протез, который двигается так плавно, что почти как настоящая рука. Он позволяет свободно вращать кистью и двигать предплечьем.



Рисунок 3. Протезот Touch Bionics – i-Limb Ultra



Рисунок 4. Протез руки от MobiusBionics – LUKEArm



Рисунок 5. Биорука от Open Bionics – Hero Arm

2.2 Принципы работы ЭКГ-сигналов и их применение в управлении устройствами

2.2.1 Основы электромиографии (ЭМГ) и ЭКГ

Электромиография (ЭМГ) и электрокардиография (ЭКГ) это такие методы, которые помогают уловить электрические сигналы от мышц и сердца. Они используются в медицине, в биомедицинской инженерии и даже в робототехнике, например, для управления бионическими протезами. Я попробую объяснить, что я узнал про эти технологии, как они работают и зачем нужны, чтобы было понятно.

ЭМГ и ЭКГ — это, можно сказать, основа для многих крутых разработок. С их помощью можно следить за тем, как работают мышцы и сердце, а еще использовать эти данные для управления разными устройствами. Например, я узнал, что ЭМГ помогает ловить сигналы от мышц, а ЭКГ — от сердца. Это важно не только для диагностики всяких болезней, но и для того, чтобы, например, протезы могли двигаться так, как хочет человек. Я даже нашел, что ЭМГ используют, чтобы протезы могли точно захватывать предметы или держать их крепче. С помощью электромиографии неврологи-нейрофизиологи устанавливают причину дисфункции височно-нижнечелюстного сустава, получают важную информацию для назначения оптимального лечения при лицевом гемиспазме и других заболеваниях [14].

Электромиография (ЭМГ) и электрокардиография (ЭКГ) это такие методы, которые помогают уловить электрические сигналы от мышц и сердца. Они используются в медицине, в биомедицинской инженерии и даже в робототехнике, например, для управления бионическими протезами. Я попробую объяснить, что я узнал про эти технологии, как они работают и зачем нужны, чтобы было понятно.

ЭМГ и ЭКГ — это, можно сказать, основа для многих крутых разработок. С их помощью можно следить за тем, как работают мышцы и сердце, а еще использовать эти данные для управления разными устройствами. Например, я узнал, что ЭМГ помогает ловить сигналы от мышц, а ЭКГ — от сердца. Это важно не только для диагностики всяких болезней, но и для того, чтобы, например, протезы могли двигаться так, как хочет человек. Я даже нашел, что ЭМГ используют, чтобы протезы могли точно захватывать предметы или держать их крепче. Такие методы находят применение в управлении протезами, в том числе для захвата и удержания объектов [6].

Электромиография (ЭМГ) — это метод, который позволяет регистрировать электрические потенциалы, возникающие в мышцах во время их

сокращения. При активации мышцы в её волокнах генерируются электрические сигналы, которые можно зафиксировать с помощью электродов.

Про электромиографию я выяснил вот что: она ловит электрические сигналы, которые появляются, когда мышцы сокращаются. Каждый раз, когда ты напрягаешь мышцу, в ней возникают такие импульсы, и их можно поймать с помощью электродов. Я узнал, что сигналы идут от так называемых двигательных единиц — это группы мышечных волокон, которые управляются одним мотонейроном. А мотонейрон — это такая большая клетка в спинном мозге, которая отвечает за движения.

Еще я разобрался, что ЭМГ бывает двух видов:

Поверхностная ЭМГ. Это когда электроды просто ставят на кожу над мышцей. Метод удобный, ничего не надо колоть, поэтому его часто используют в больницах.

Игольчатая ЭМГ. Тут электроды втыкают прямо в мышцу. Это уже посерьезнее, но зато можно точнее понять, как работает каждая двигательная единица. Мотонейрон — крупная нервная клетка в передних рогах спинного мозга [4].

Типы ЭМГ:

Поверхностная ЭМГ: Электроды располагаются на коже над исследуемой мышцей. Этот метод является неинвазивным и удобным для клинического применения.

Игольчатая ЭМГ: Электроды вводятся непосредственно в мышцу, что позволяет более точно анализировать активность отдельных двигательных единиц.

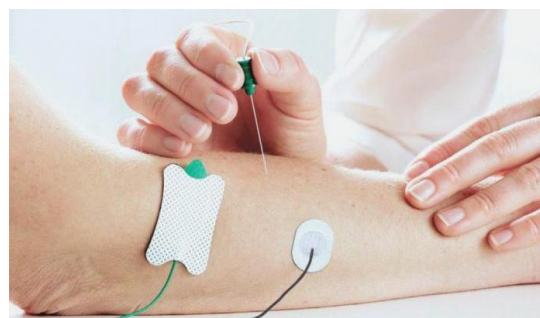
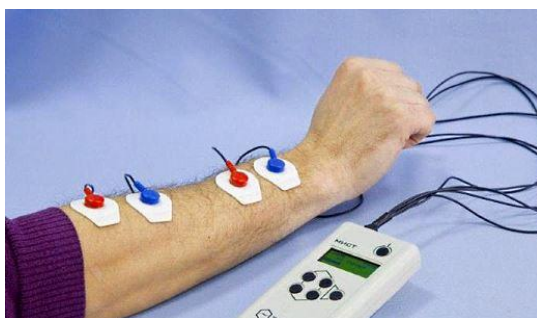


Рисунок 6 а, б. (а – поверхностная ЭМГ, б – игольчатая ЭМГ)

ЭМГ помогает не только с протезами, но и в медицине. Например, с помощью ЭМГ лица можно проверить, как работают жевательные или мимические мышцы. Это помогает врачам понять, есть ли проблемы с мозгом

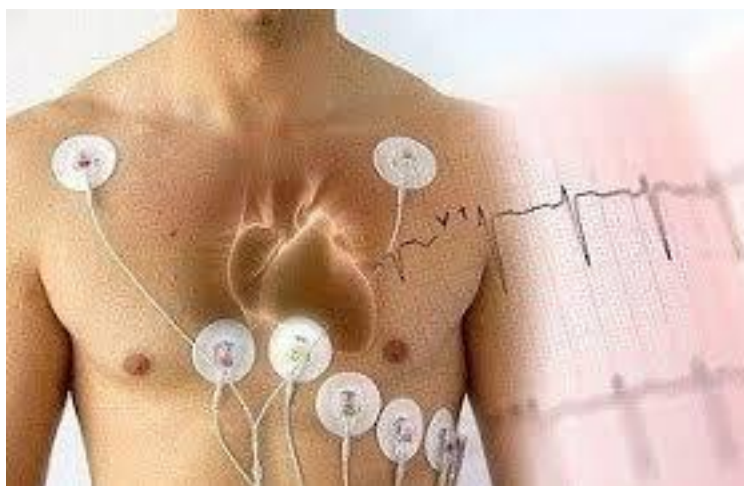


Рисунок 7. Электрокардиография (ЭКГ)

2.2.2 Особенности обработки сигналов

Таблица 1 - сравнение обработки сигналов ЭМГ и ЭКГ

Аспект обработки	ЭМГ (Электромиография)	ЭКГ (Электрокардиография)
Цель обработки	Анализ мышечной активности для управления протезами, диагностики заболеваний мышц и нервов.	Анализ сердечной активности для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний и мониторинга.
Тип сигнала	Быстрые колебания с высокой частотой (обычно 20–500 Гц).	Медленные колебания с низкой частотой (обычно 0,5–100 Гц).
Фильтрация	Устранение шумов: электрических помех (50/60 Гц), артефактов движения, перекрестных помех.	Устранение шумов: дыхания, движений тела, электрических помех (50/60 Гц).
Амплитудный анализ	Измерение амплитуды сигнала, которая коррелирует с силой сокращения мышц.	Измерение амплитуды зубцов (P, QRS, T) для оценки электрической активности сердца.
Частотный анализ	Анализ частотных характеристик для оценки утомления мышц	Анализ частотных характеристик для

	и типа мышечной активности.	выявления аритмий и других патологий.
Выделение компонентов	Выделение отдельных двигательных единиц (при игольчатой ЭМГ).	Выделение зубцов (P, QRS, T) и интервалов (PQ, QT, RR) для анализа сердечного ритма.
Классификация сигналов	Использование алгоритмов машинного обучения для распознавания типов движений.	Использование алгоритмов машинного обучения для классификации аритмий и других патологий.
Основные методы	- Фильтрация (низкочастотная, высокочастотная, полосовая).	- Фильтрация (низкочастотная, высокочастотная, полосовая).
	- Анализ амплитуды и частоты.	- Выделение зубцов и интервалов.
	- Классификация с использованием ИИ.	- Классификация с использованием ИИ.
Примеры алгоритмов	- Быстрое преобразование Фурье (FFT).	- Быстрое преобразование Фурье (FFT).
	- Вейвлет-анализ.	- Вейвлет-анализ.
	- Нейронные сети для распознавания движений.	- Нейронные сети для диагностики аритмий.
Применение в протезах	Управление бионическими протезами на основе мышечных сигналов.	Мониторинг состояния пользователя (например, стресс, усталость) для адаптации управления.

2.3 Микроконтроллеры в робототехнике. Обзор микроконтроллеров

Микроконтроллеры Они как мозг протеза: обрабатывают сигналы, управляют моторами и связываются с другими устройствами. Когда я изучал, как делать протез с сенсорами, например, с электромиографией (ЭМГ) или электрокардиографией (ЭКГ), понял, что выбрать правильный микроконтроллер

— это прям критично. От него зависит, насколько протез будет точным, надежным и вообще удобным. Я остановился на Arduino Uno, потому что он недорогой, жрет мало энергии и к нему куча всяких библиотек есть. Но еще я смотрел на другие варианты, типа Raspberry Pi и ESP32. В качестве управляющего элемента используется Arduino Uno, отличающийся доступностью, низким энергопотреблением и наличием обширной базы библиотек [3]. Также рассматриваются альтернативы, такие как Raspberry Pi и ESP32 [9].

Arduino — это вообще семейство микроконтроллеров, которые везде используют, особенно в робототехнике и всяких автоматизированных проектах. Я выбрал его, потому что он простой и доступный, прям находка для тех, кто только начинает прототипы делать. С Arduino удобно работать, потому что там куча готовых библиотек для датчиков, сервоприводов и всякого разного. Например, я узнал, что для ЭМГ-сигналов можно использовать аналоговые входы Arduino. Они считывают данные с электродов, а потом их можно обработать с помощью встроенных программ или каких-то внешних алгоритмов. Еще плюс, что Arduino не тянет много энергии, а это важно для протезов, которые человек носит с собой. Но, если честно, я заметил, что у Arduino есть минус — он не такой мощный. Если надо запускать сложные алгоритмы, типа машинного обучения, или обрабатывать сигналы прямо на лету, он может не потянуть.

В общем, я считаю, что микроконтроллеры — это сердце любого умного протеза. Без них ничего бы не работало: ни управление, ни обработка сигналов. Arduino мне понравился за простоту и дешевизну, но я понимаю, что для более продвинутых штук, может, придется посмотреть на что-то помощнее, типа Raspberry Pi или ESP32. Это реально крутые технологии, которые делают протезы не просто заменой руки, а почти как настоящую конечность.

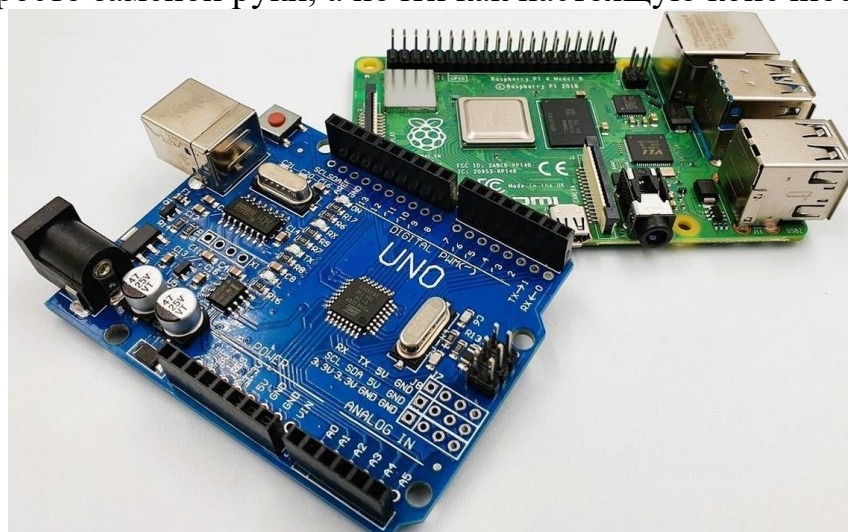


Рисунок 8. Микроконтроллеры Arduino и RaspberryPi

Микроконтроллера для умных протезов, кроме Arduino и Raspberry Pi есть еще куча вариантов, которые реально подходят. Например, я узнал про ESP32 — это такая штука, которая мало энергии жрет и умеет подключаться к Wi-Fi и Bluetooth. Это прям удобно, если надо сделать протез, который будет без проводов работать и, например, связываться с телефоном или другими гаджетами. Еще есть STM32, который вообще мощный, с кучей всяких интерфейсов. Я понял, что он хорош для сложных проектов, где нужно много всего обрабатывать. В общем, каждый микроконтроллер по-своему хорош, и я выбирал бы в зависимости от того, что именно нужно для протеза. Благодаря этим характеристикам, STM32 является популярным выбором среди разработчиков встраиваемых систем [15].

Про STM32 я еще узнал, что он прям популярен у тех, кто делает встраиваемые системы. Он мощный, энергии тратит мало, и в нем куча всяких функций, чтобы подключать разные датчики и устройства. Я подумал, что это прям отличный вариант, если надо сделать что-то посложнее, чем просто базовый протез.

Если говорить о том, как микроконтроллеры работают в умных протезах, то я разобрался, что они делают несколько важных вещей:

- Во-первых, они ловят сигналы от сенсоров, типа ЭМГ или ЭКГ, и превращают их в команды, чтобы двигать сервоприводы. Это как будто протез понимает, что ты хочешь сделать — взять кружку или сжать руку.
- Во-вторых, они связывают все части протеза между собой. Например, датчики обратной связи, которые говорят, с какой силой ты что-то держишь, или даже внешние устройства, типа смартфона.
- В-третьих, я нашел, что на микроконтроллерах можно запускать алгоритмы машинного обучения. Это когда протез учится подстраиваться под тебя, чтобы движения были точнее и удобнее. Это круто, потому что каждый человек двигается по-своему. В итоге, микроконтроллеры — это как сердце протеза. Без них ничего бы не работало: ни управление, ни обработка сигналов, ни всякие умные функции. Я пока смотрел на Arduino, но теперь понимаю, что ESP32 или STM32 тоже могут быть классным выбором, если нужен протез с кучей возможностей.

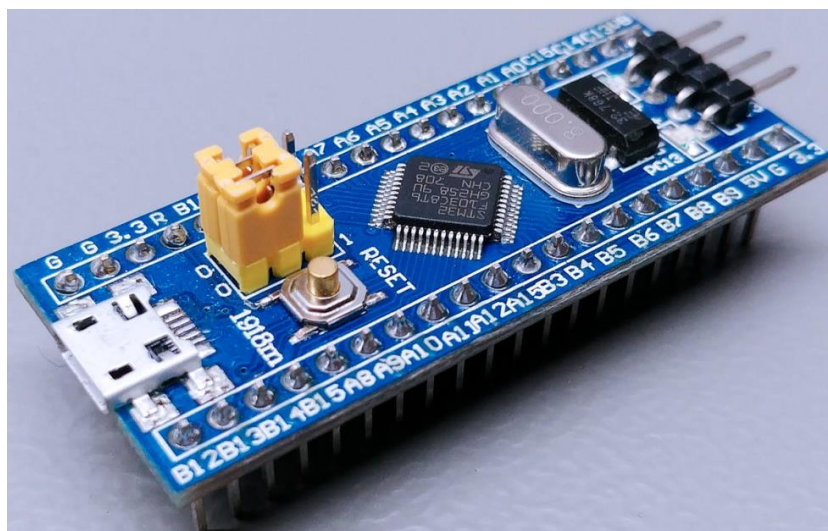


Рисунок 9. Микроконтроллер STM 32

2.4 Применение сервоприводов в робототехнике. Принцип работы сервоприводов

Сами по себе Сервоприводы играют значимую роль в робототехнике, их точность и компактность ставят их в почти самый топ всех компонентов. Частенько они применяются в робототехнике как компонент, с помощью которого можно собрать роботизированную руку, Гусеничных и колёсных роботов, для управления движением и поворота, и манипулятор, один из первых серьёзных проектов, которые я изобретал. Также часто применяются они в гуманоидных роботах для имитаций движения человека, В системах стабилизаций, ну и в Роботах сборщиках. Сервоприводы, такие как MG996R, обеспечивают точное позиционирование, необходимое для движения пальцев и кисти [12]. Они управляются с помощью ШИМ-сигналов, что позволяет гибко регулировать усилие и скорость [2].

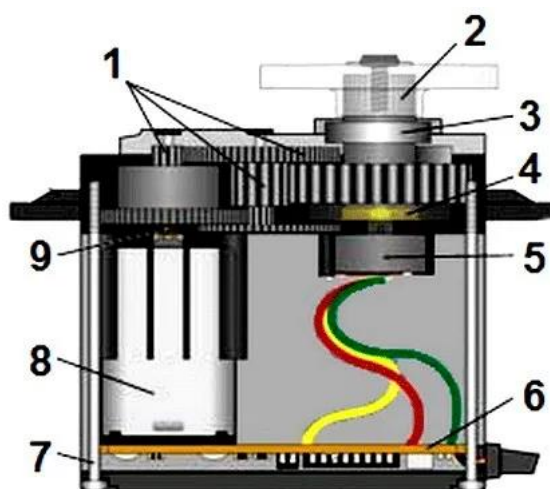


Рисунок 10. Сервопривод и его компоненты

Сервопривод сам по себе очень качественный, компактный компонент, состоит он из:

Электродвигателя - который отвечает за вращения

Редуктор - который снижает скорость

Контроллера - который сравнивает текущую позицию с заданной

Как он работает? Ты задаёшь ему заданную позицию, к примеру на 45 градусов, Сервопривод в свою очередь сравнивает, к примеру << Я сейчас нахожусь на 15 градусах, значит надо докрутить ещё 30 градусов до заданного градуса>> Теперь заметьте, как только он доходит до заданного градуса, он останавливается и ждёт следующей команды.

По такому принципу мы собрали Роботизированную руку, где были 2 части.

1 - была искусственная перчатка с помощью которой мы приводили в действие следующую часть

2 - а это уже 2 часть на которую уже приходил сигнал с 1 части, и она уже выполняла то что ей задали.

В целом благодаря сервоприводам, можно построить, смоделировать, изготовить проект, на основе которого можно построить действительно полезное изобретение, которое поможет людям и сохранит множеством жизней и облегчит работу и автоматизирует её.

3. Выбор компонентов

3.1 ЭКГ-датчики

Экг датчик это датчик который проверяет или измеряет электрическую активность сердца. Сердце кароче бьется и создает импульсы, которые передаются по всему телу. Датчики находятся кароче на теле, ну или по всему телу. Датчики кароче ловят эти импульсы и превращают их в электрические сигналы. Эти сигналы становятся больше и превращаются в большой график. Это и есть Экг. Чтобы контакт был хорошим, надо кароче хорошо закрепить хороший контакт между кожей и этими датчиками. Для этого и используется специальные смазывающие смазки, гели, или пасты, у кого как. Которые делают меньше сопротивление кожи. Используются одноразовые и многоразовые электроды с проводной или беспроводной передачей данных [1]. В проекте задействованы бытовые модули, передающие данные на Arduino по аналоговому входу [6].

Классы экг

Первое это эти электроды
одноразовые электроды

они изготовлены из гипоаллергенного материала и наверное покрыты адгезивом. Их используют для быстрой и мало срочной диагностики в клинической практике.

Многоразовые электроды

Их используют для долгого мониторинга и требуют, чтоб их постоянно чистили.

Второе это Проводные. Их подключают к ЭКГ аппарату с помощью провода, может кабеля. Они дают большую точность и постоянный сигнал.

Беспроводные. Они передают все данные по блютуз, ну или вайфай. Наверное полезны для того, чтоб легче было смотреть на расстоянии и использования их с носимыми устройствами.

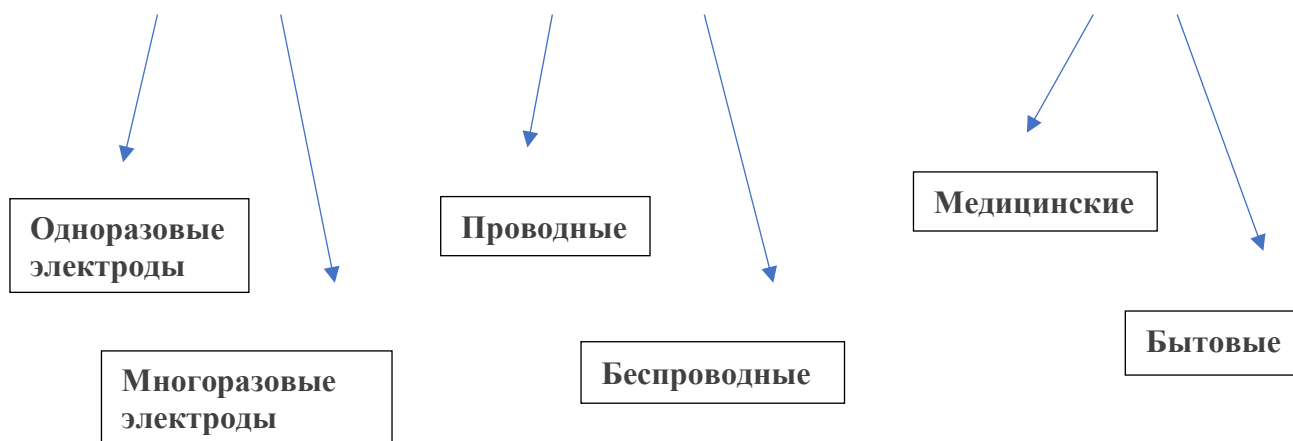
Третье это Медицинские. Это может быть профессиональные датчики для клиник и больниц. Но мне без разницы

Есть домашние. Их ставят в умные часы и фитнес-часы. А еще есть проводные. Они подключаются к ЭКГ-аппарату с помощью провода.

По количеству
использований

По типу передачи
данных

По области
применения



Таблица–2. + и - ЭКГ-датчиков.

Плюс

Минус

Неинвазивность Он безопасный

Кароче его надо правильно размещать электроды именно

Большая точность если человек умный, и правильно установит

Одноразовые электроды это уже не тема, могут раздражать

Можно дольше смотреть и видеть

Это устройство не все может, он имеет некоторые ограничения

Классификация ЭКГ-датчиков

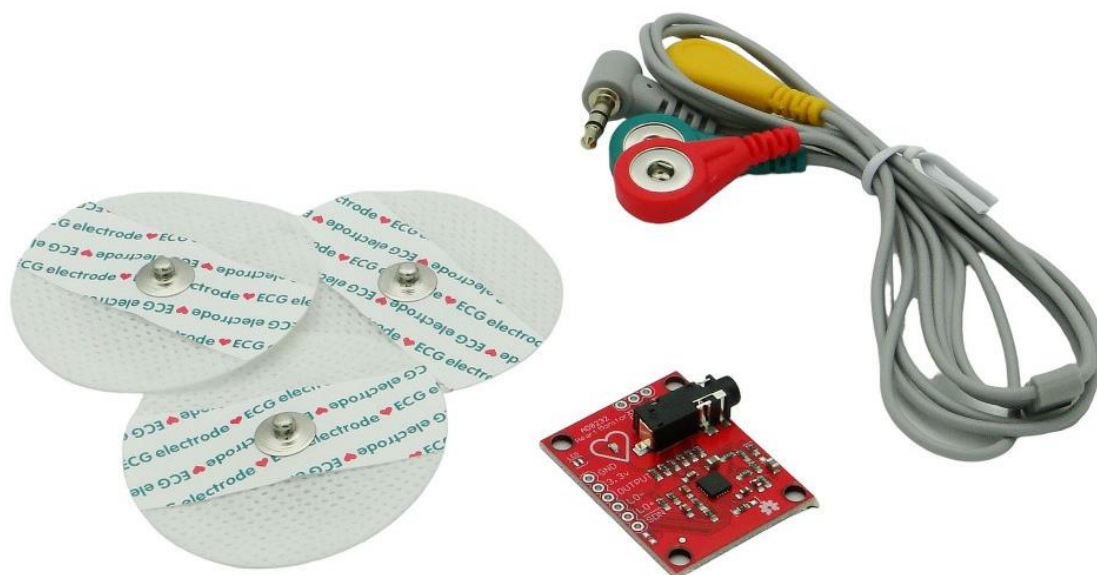


Рисунок 11. ЭКГ датчик и модуль

Таблица–2. Преимущества и недостатки ЭКГ-датчиков.

Преимущества	Недостатки
--------------	------------

Неинвазивность и безопасность	Необходимость правильного размещения электродов
Высокая точность при правильной установке	Одноразовые электроды могут вызывать раздражение кожи
Возможность длительного мониторинга	Бытовые устройства имеют ограниченную точность

3.2 Сервоприводы

Сервоприводы являются важным компонентом современных автоматизированных систем, обеспечивая точное управление положением, скоростью и усилием. Применяется MG996R — популярный сервомотор с металлическими шестернями, подходящий для силовых нагрузок [12].

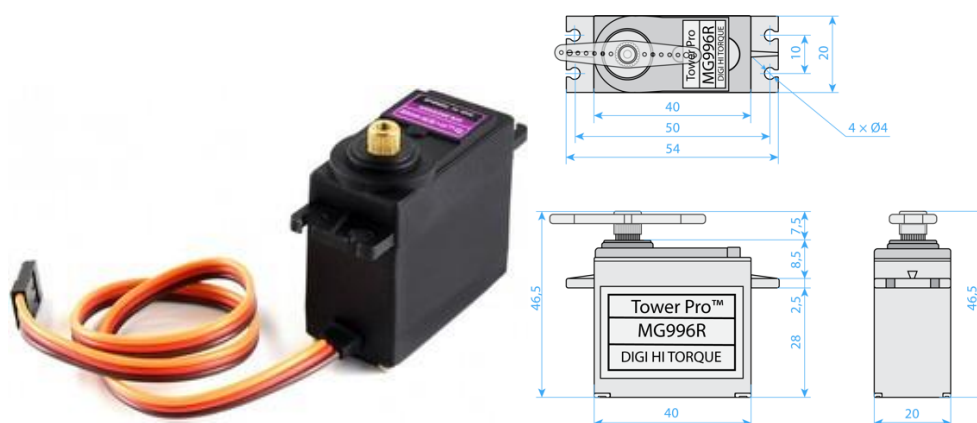


Рисунок – 12. Сервопривод MG996R

Сервоприводы это одни из важнейших электронных компонентов в автоматизированных системах. Потому что счёт их точных движений, скорости движений и прилагаемых усилий. Данный сервопривод большого размера, имеет внутренние металлические шестерни, питается от 5 до 7,2 вольт (поможет избежать перегрузки основного контроллера, например Arduino) и способен выдерживать до 15кг включительно. Советуется не перенапрягать сервопривод, то есть, не допускать его 100% нагрузки больше минуты, так как возможен перегрев. Также советуется установить конденсатор между землёй и питанием перед сервоприводом, так как при его резких движениях на цепи появляются помехи. Это нужно для более точной и стабильной работы. Сервоприводы могут создавать помехи в электрической цепи, особенно при резких движениях. Чтобы уменьшить эти помехи, рекомендуется установить конденсаторы между питанием и землей. Это сделает работу системы более стабильной [13].

Диапазон длительности импульса: 500–2500 мкс

Аппаратный интерфейс: контакты S-V-G (PBS-3)

Потребляемый ток: 170 мА
 Скорость вращения вала: 60° за 0,17 сек (180° за 0,51 сек)
 Программный интерфейс: PDM (Pulse-Duration Modulation)
 Ток удержания: 1200 мА
 Материал корпуса: пластик
 Материал шестерней: металл
 Размеры: 54×20×46,5 мм
 Вес: 60 г
 Крутящий момент: 10 кг·см
 Логика работы сервопривода:
 1. Подача ШИМ-сигнала 2. Измерение положения
 3. Вычисление ошибки 4. Коррекция работы двигателя

Таблица – 3. Логика работы сервопривода

Этап	Описание
1. Подача ШИМ-сигнала	На управляющую плату подается ШИМ-сигнал (PWM), который определяет целевое положение вала.
2. Измерение положения	Потенциометр измеряет текущее положение и передает данные на управляющую плату.
3. Вычисление ошибки	Плата вычисляет разницу между заданным и текущим положением (ошибку).
4. Коррекция работы двигателя	Управляющая плата корректирует работу двигателя до тех пор, пока ошибка не станет минимальной.

3.3 Микроконтроллер Arduino

Arduino UNO выбран в качестве мозга, он служит для создания проектов бионических рук, роботов, и т.п. проектов.

Ардуино имеет достаточно плюсов для создания вышеперечисленных проектов, например такие как:

1. Простота в использовании.
2. Поддержка работы с многими компонентами.
3. Доступность.

Arduino UNO является популярной платформой, для разработки, создания проектов в области робототехники, UNO можно сказать начало обучения в сфере автоматизации, инженерии.

Перейдем к характеристикам данного типа ардуино:

Для использования ардуино рекомендуется напряжение 7-12В, предельным является 6-20В. Так же входы/выходы UNO имеют поддержку ШИМ.

ШИМ - Широтно-импульсная модуляция.

Тактовая частота данного типа ардуино - 16МГц.

Входов и выходов у UNO достаточно, но он все равно уступает Arduino MEGA. Контроллер ATmega328P используется как центр системы — он получает данные с датчиков и управляет двигателями [3].



Рисунок 13. Arduino UNO

Основные характеристики

- Микроконтроллер: ATmega328.
- Рабочее напряжение: 5 В.
- Входное напряжение:
- Рекомендуемое: 7–12 В.
- Предельное: 6–20 В.
- Цифровые входы/выходы: 14 (6 с поддержкой ШИМ).
- Аналоговые входы: 6.
- Память:
- Флеш-память: 32 КБ (0.5 КБ для загрузчика).
- ОЗУ: 2 КБ.
- EEPROM: 1 КБ.
- Тактовая частота: 16 МГц.

3.4 Материалы для корпуса (3D-печать)

Для изготовления корпуса используется PLA+ — прочный, лёгкий и удобный в печати материал. "PLA+" - это название, часто используемое для вариантов PLA, свойства которых были улучшены за счет использования добавок, выходящих за рамки его стандартного состава. Чтобы было ясно, PLA+ все еще PLA, так как имеет тот же основной состав. Добавки просто придают ему дополнительные характеристики [10]. Если в кратце сказать это лучший вариант для 3Д печати такого типа проекта.



Рисунок 14. Пластик для 3d принтера PLA+

Преимущества PLA+ для корпуса:

- Прочность и долговечность
- Легкость
- Эстетика
- Обработка

PLA+ — это не просто пластик. Он лёгкий, прочный и выглядит нормально, что тоже важно. Мы же делаем не просто рабочую железку, а вещь, которой реально будет пользоваться человек. Так же важно учитывать, что проект должен считать в себе: долговечность, износостойкость, внешний вид и как его удобно будет носить.

Он не ломается и не трескается, даже если использовать его активно. А лёгкость материала — это вообще топ, потому что протез не должен утяжелять руку. Чем он легче — тем удобнее, особенно если носить его целый день. Самый главный плюс данного материала то что он бывает разных материалов и текстур так что можно сделать корпус не только надёжным, но и реально красивым.

4. Проектная часть. Разработка конструкции бионической руки

Я в своем дипломном проекте решил разбить работу над бионической рукой на несколько этапов, чтобы всё получилось четко и работало как надо. Моя цель — сделать протез, который будет не только функциональным, но и удобным для человека. Я постарался продумать всё шаг за шагом, и вот что у меня получилось.

Первым делом я занялся проектированием и моделированием самой бионической руки. Я смотрел на то, как устроена настоящая рука, как она двигается, и думал, что нужно, чтобы протез был максимально полезным. На этом этапе я сделал модель пальцев и ладони, а еще предусмотрел места, куда будут крепиться сервоприводы — это такие моторчики, которые двигают части протеза. Потом я начал печатать детали на 3D-принтере. Я выбрал материал PLA+, потому что он покрепче обычного пластика и должен дольше прослужить.

Этап 1: Формирование пальцев

Я начал с пальцев, потому что это одна из самых важных частей руки. Сначала я изучил, как они устроены. Оказалось, что каждый палец, кроме большого, состоит из трех косточек, которые называют фалангами: проксимальная, средняя и дистальная. А вот большой палец попроще — у него только две фаланги. Когда я моделировал пальцы, я старался сделать их пропорции правильными, чтобы они выглядели и двигались естественно. Я смотрел, чтобы размеры всех пальцев соотносились друг с другом, как в настоящей руке. Это было не так просто, но я думаю, что это важно, чтобы протез работал как надо и выглядел нормально.



Рисунок 15. Фаланги пальцев на Solidworks

Этап 2: Разработка ладони

Когда я дошел до проектирования ладони для бионической руки, я понял, что это тоже важная часть работы. Ладонь должна держать все пальцы и соединяться с предплечьем, чтобы всё работало как надо. Я сначала думал

сделать ладонь цельной, одной сплошной деталью. Мне казалось, что так будет проще и надежнее. Но потом я попробовал, и оказалось, что такая ладонь получается слишком жесткой — когда пальцы сжимаются, движения выглядят неестественно, как будто рука деревянная.

В итоге я решил, что надо добавить подвижности. Я запланировал в ладони пять точек крепления для пальцев, чтобы каждый мог двигаться отдельно, как в настоящей руке. Еще я продумал место, где ладонь будет соединяться с предплечьем, чтобы протез крепко держался и не болтался. Это было не так просто, потому что нужно было учесть, как всё будет работать вместе. Но я думаю, что если сделать ладонь чуть гибче, то движения протеза станут плавнее и больше похожи на настоящие.

В общем, я работал над тем, чтобы ладонь получилась удобной и функциональной. Мне кажется, что это важный шаг, чтобы бионическая рука реально помогала человеку и выглядела естественно.

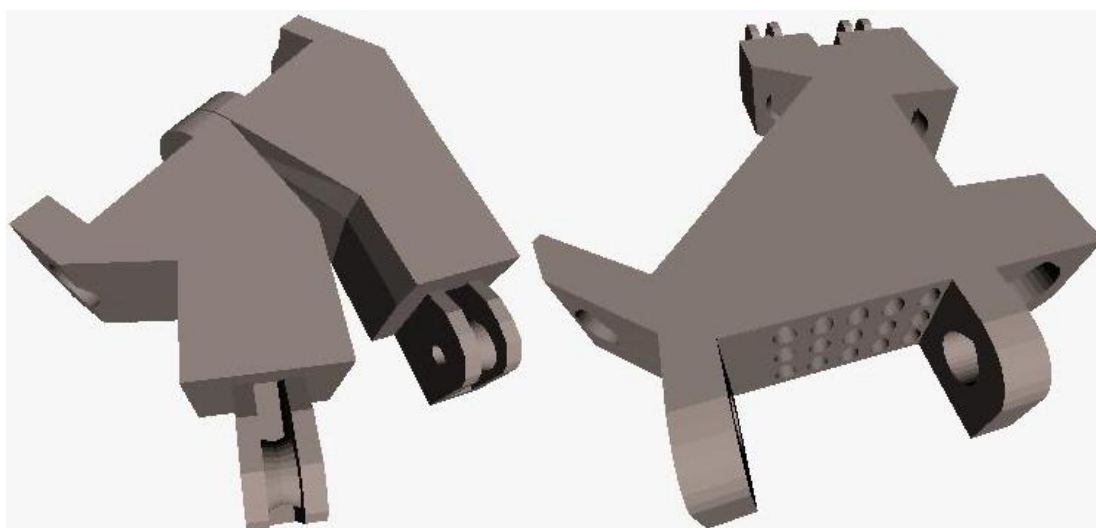


Рисунок 16. Модель кисти с подвижными пальцами на Solidworks

Когда я разбирался с анатомией руки, я понял, что надо добавить точки сгиба для безымянного пальца и мизинца. Сначала я думал, что можно обойтись без этого, но потом увидел, что без них пальцы двигаются как-то неестественно. Я решил их добавить, и, честно, это реально улучшило гибкость протеза. Теперь захват выглядит гораздо лучше, прям как у настоящей руки, и держать предметы стало удобнее.

Этап 3: Конструирование предплечья

Дальше я взялся за предплечье. Я хотел, чтобы оно было похоже на настоящее, но при этом было удобным для всей начинки. Поэтому я выбрал полую конструкцию — внутри хватает места, чтобы засунуть моторы, провода и микроконтроллер. Мне кажется, это важно, чтобы всё было аккуратно и ничего не торчало. Для поворота кисти я решил поставить отдельный мотор с зубчатой передачей. Я проверил, и такая система реально позволяет плавно и точно управлять движениями, как будто ты поворачиваешь настоящую руку.

Я старался сделать так, чтобы каждая часть протеза работала слаженно. Думаю, что с такой конструкцией предплечья и улучшенными пальцами бионическая рука будет не только удобной, но и надежной для человека, который будет её использовать.



Рисунок 17. Модель предплечья на Solidworks

На последнем этапе я занялся тем, чтобы довести всё до ума. Когда я смотрел на модели, заметил, что есть небольшие косяки в проектировании — где-то размеры чуть не совпадали, где-то детали не совсем ровно стыковались. Я решил всё это подправить, чтобы протез работал как надо. После доработки я собрал все части в одну модель: пальцы, ладонь, предплечье — всё вместе. Это было не так просто, потому что надо было проверить, чтобы каждая деталь сидела на своём месте и ничего не болталось. Но, честно, когда я всё соединил, протез стал выглядеть и работать как единое целое.

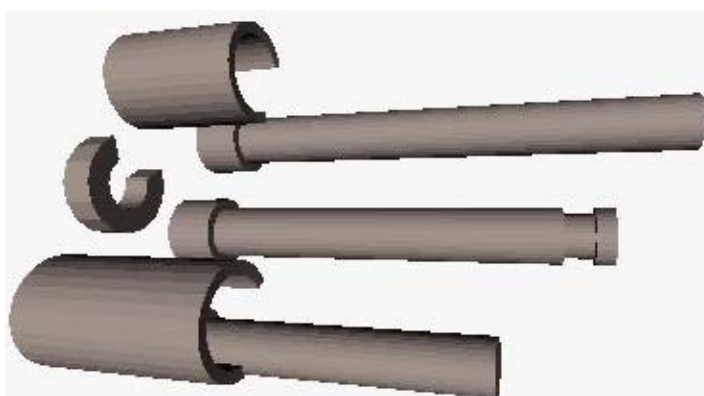


Рисунок 18. Модель крепления

Места крепления кисти и предплечья фиксируются с помощью резьбового болта. Это, кстати, позволяет легко собирать и разбирать конструкцию при необходимости.

4.2 Управление прототипом

Я тут разбирался, как работают ЭКГ-сенсоры в моей бионической руке, и, честно, это довольно интересная штука. Эти сенсоры ловят электрические импульсы от мышц, которые показывают, что человек хочет сделать — например, сжать руку или повернуть кисть. Все эти сигналы отправляются на микроконтроллер Arduino Uno, который я выбрал для проекта. Он их анализирует и превращает в команды, чтобы сервоприводы двигали пальцы и кисть так, как нужно. Я постараюсь объяснить, как это всё работает, чтобы было понятно.

Алгоритм управления

Я придумал, как организовать управление протезом, и разбил процесс на несколько шагов:

Сбор данных. ЭКГ-сенсор постоянно следит за электрической активностью мышц и сразу отправляет данные на Arduino. Это происходит в реальном времени, чтобы протез мог быстро реагировать.

Обработка сигналов. На Arduino я настроил алгоритм, который разбирается, что значат эти сигналы. Например, если мышцы чаще сокращаются, это может означать, что человек хочет что-то схватить. Я постарался сделать так, чтобы система понимала намерения пользователя максимально точно.

Команда на движение. После того как Arduino обработал данные, он посылает команды на сервоприводы. Это такие моторчики, которые двигают пальцы и кисть. В итоге протез выполняет то, что хотел человек, — например, сжимает руку или поворачивает кисть.

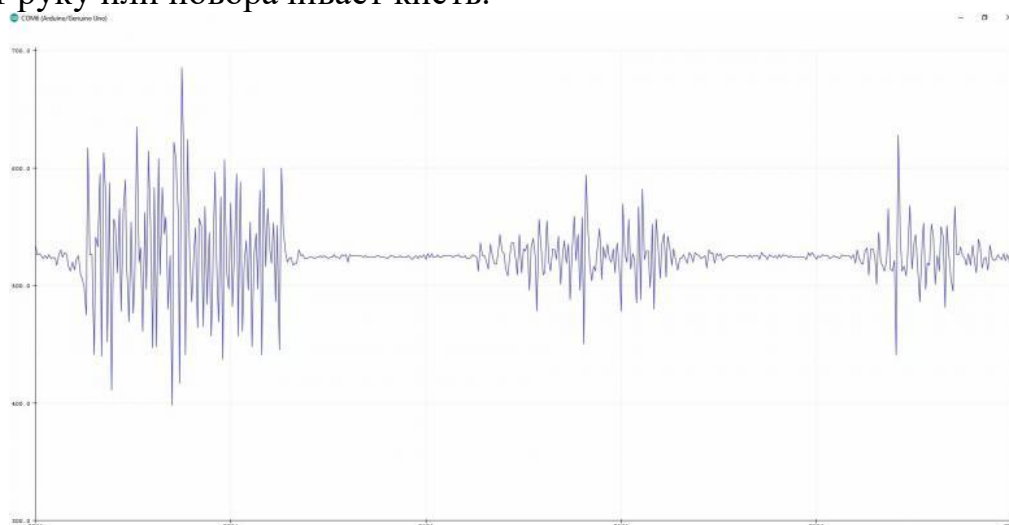


Рисунок 19. График считывания сокращения мышц с ЭКГ-датчика

Код и работа с ЭКГ-датчиком

На рисунке 19 я показал кусок этого кода. В общем, я написал программу в Arduino IDE, которая анализирует сигналы от датчика и отправляет команды на сервоприводы, чтобы они двигали протез. Программа следит за пороговыми значениями — это когда сигнал от мышц становится достаточно сильным, чтобы понять, что человек хочет, например, сжать руку. Я решил не использовать дополнительные библиотеки, потому что стандартных функций Arduino, в принципе, хватает для работы с датчиком. Это упрощает всё, и код получается не такой громоздкий.

Перед тем как запускать программу, я подсоединил ЭКГ-датчик к аналоговому входу Arduino, к пину A0. Это было не сложно, но я проверял несколько раз, чтобы всё было подключено правильно, иначе данные могут прийти кривые. Датчик ловит электрические импульсы от мышц, а Arduino их обрабатывает. Я старался сделать так, чтобы всё работало четко и без сбоев, потому что для протеза важно, чтобы он реагировал быстро и точно.

```
#include <Arduino.h>
const int ecgPin = A0;
const int threshold = 600;
int ecgValue = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  ecgValue = analogRead(ecgPin);
  Serial.print("ECG Value: ");
  Serial.println(ecgValue);
  if (ecgValue > threshold) {
    Serial.println("Muscle contraction detected!");
  }
  delay(100);
}
```

Рисунок 20. Часть кода для считывания с ЭКГ-датчика

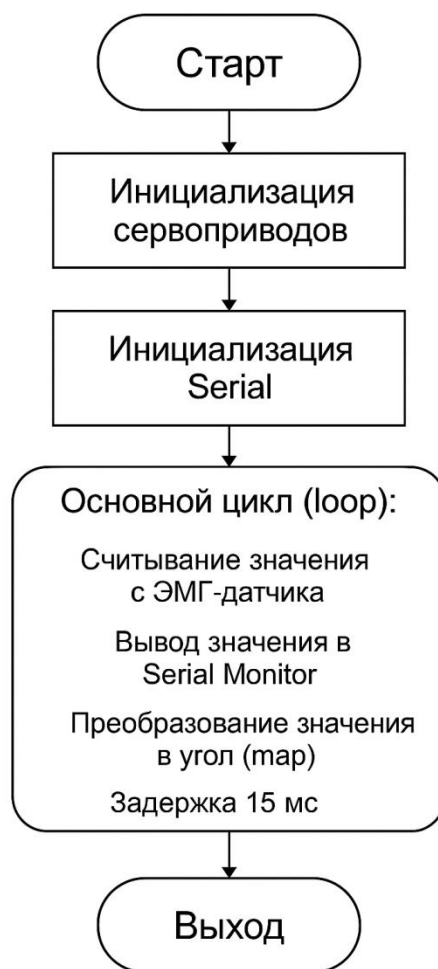


Рисунок 21. Алгоритм работы кода

Обработка данных с ЭКГ-датчика

Сначала настроена программа, чтобы она считывала данные с ЭКГ-датчика. Это нужно, чтобы в реальном времени ловить импульсы от мышц, когда человек хочет что-то сделать, например, сжать руку. Потом был добавлен вывод этих данных на последовательный монитор в Arduino IDE. Это помогает мне видеть, что именно ловит датчик, и проверять, всё ли правильно работает. Если что-то не так, я сразу замечу. И наконец, я сделал так, чтобы программа проверяла, если сигнал от мышц выше определенного порога. Когда это случается, она выводит сообщение, что обнаружено сокращение мышц. Это как сигнал, что человек хочет активировать протез, и тогда Arduino дает команду сервоприводам двигаться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге мы собрали такой первый прототип бионической руки. Пока что это, типа, черновой вариант, но уже видно, что идея рабочая. Есть куда расти, есть что дорабатывать, но сам факт, что получилось — это уже круто. В будущем, конечно, можно будет добавить всякие новые технологии, сделать её удобнее, мощнее и ближе к реальной руке, чтобы человеку было максимально комфортно пользоваться.

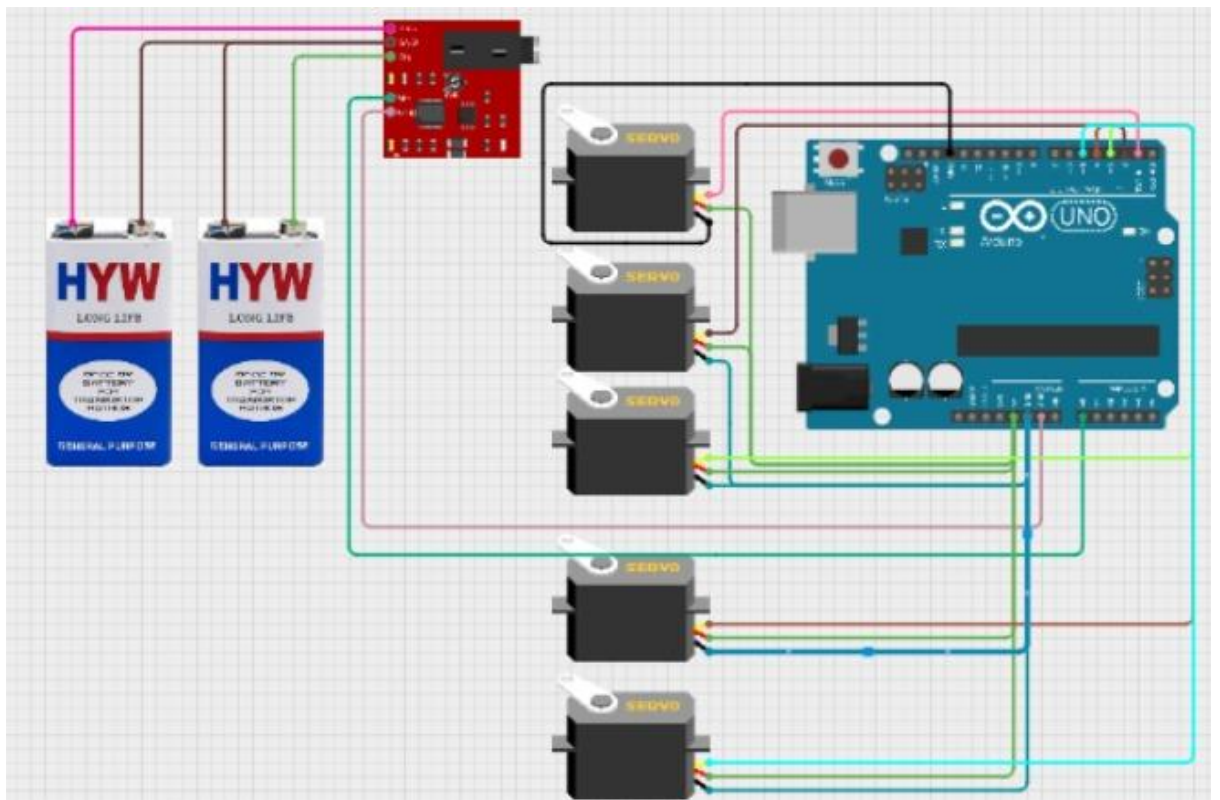
На самом деле, этот проект — это не просто «сделали и забыли». Это, типа, фундамент, на котором можно строить что-то реально полезное. Мы же понимаем, насколько такие штуки могут изменить жизнь людей, у которых есть проблемы с руками. Это не просто техника — это, по сути, шанс почувствовать себя полноценным, вернуть контроль.

И самое интересное, что мы использовали ЭКГ-датчики. То есть, протез может понимать сигналы от тела и двигаться, как настоящая рука. Это уже не просто механизм, а реально умная система. Мы смогли смоделировать и пальцы, и ладонь так, чтобы всё выглядело и работало максимально приближенно к живому. И это, честно, вдохновляет — потому что ты понимаешь, что двигаешься в правильную сторону.

СПИСОК ИСКОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, В. А. Биомедицинская инженерия: основы, устройства и системы
2. Мартынов, С. Н. Основы робототехники
3. Романов, А. Ю. Микроконтроллеры Arduino
4. Электронный ресурс: Мотонейрон. Википедия: свободная энциклопедия – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Мотонейрон>
5. Карпов, Е. А. Протезирование: современные технологии и инновации. Медицинская техника. 2021. — №2. — С. 10–15.
6. Чжоу, П. и др. Электромиография и ее применение в управлении бионическими конечностями. Journal of Biomedical Engineering.
7. Электронный ресурс: <https://atf.ru/articles/obzory/bionicheskie-protezy-istoriya-sozdaniya-obsluzhivanie-i-sovremennye-dostizheniya-razrabotki/> - Биопротезы
8. Губарев, С. В., Ким, Д. В. Бионические протезы. Современные решения и перспективы
9. Электронный ресурс: Arduino Project Hub - проекты и библиотеки Arduino.
10. Электронный ресурс: PLA против PLA+/Plus: в чём разница? <https://habr.com/ru/articles/573708/>
11. ЮНЕСКО. Всемирный доклад по науке, технологиям и инновациям. Париж: ЮНЕСКО, 2022.
12. Руководство пользователя сервопривода MG996R - официальный ресурс производителя
13. Электронный ресурс: Программирование STM32: введение и примеры. Skupro Wiki. 2025 - <https://sky.pro/wiki/javascript/programmirovanie-stm32-vvedenie-i-primery/>
14. Электронный ресурс: Klipartz: <https://www.klipartz.com/ru/sticker-png-sbjil>.
15. Электронный ресурс: Программирование STM32: введение и примеры. Skupro Wiki. <https://sky.pro/wiki/javascript/programmirovanie-stm32-vvedenie-i-primery/>
16. <https://medobr.com/news/istoriya-protezirovaniya-ot-drevneyshikh-vremen-do-nashikh-dney/>

Приложения А



Электрическая-принципиальная схема

Приложения Б

Скетч:

```
#include<Servo.h>

// Определение пинов для сервоприводов
const int servoPins[] = {6, 2, 3, 4, 5}; // Сервоприводы подключены к D1, D2,
D3, D4, D5

// Определение пина для ЭМГ-датчика
const int emgPin = A0; // ЭМГ-датчик подключён к A0

// Создание массива объектов сервоприводов
Servo servos[5];

void setup() {
    // Инициализация сервоприводов
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        servos[i].attach(servoPins[i]);
    }

    // Инициализация последовательной связи для отладки
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    // Считывание значения с ЭМГ-датчика
    int emgValue = analogRead(emgPin);

    // Вывод значения ЭМГ в монитор порта
    Serial.println(emgValue);

    // Преобразование значения ЭМГ в позицию сервопривода (от 0 до 180
    градусов)
    int servoPosition = map(emgValue, 0, 1023, 0, 180);

    // Установка позиции для всех сервоприводов
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        servos[i].write(servoPosition);
    }

    // Небольшая задержка для завершения движения сервоприводов
```

```
delay(15);  
}
```

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект студента образовательной программы
6B07114 Биомедицинская инженерия
Марат Алдияр Оразғалиұлы

Тема работы: «Разработка интеллектуального протеза с использованием сенсорных систем»

Объём выполненной работы:

- а) графическая часть — ____ листов
- б) пояснительная записка — ____ страниц

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Дипломный проект посвящён разработке прототипа интеллектуального протеза верхней конечности с управлением на основе ЭКГ-сигналов и микроконтроллера Arduino. Тема отличается высокой социальной значимостью и технической актуальностью, поскольку направлена на улучшение качества жизни лиц с ампутациями за счёт внедрения современных сенсорных и роботизированных технологий.

Алдияр продемонстрировал уверенное владение теоретической базой и практическими навыками в области мехатроники и биомедицинской инженерии. Работа включает подробный анализ современных бионических решений, анатомических особенностей руки, принципов работы ЭКГ-сигналов, применения сервоприводов и микроконтроллеров. Используются CAD-моделирование (SolidWorks), технологии 3D-печати и прототипирования.

Особое внимание уделено разработке анатомически корректной конструкции и алгоритму управления протезом, реализованному в среде Arduino IDE. Это подчёркивает умение студента интегрировать аппаратные и программные решения для создания функционального устройства.

ОТМЕЧАЕМЫЕ ОСОБЕННОСТИ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Вместе с тем, в работе не представлен экспериментальный прототип или натурная верификация модели; краткое сравнение с аналогами выполнено, но могло бы быть дополнено техническими характеристиками; динамический анализ конструкции изложен поверхностно; не затронуты вопросы адаптации изделия к условиям серийного производства и оценки стоимости, а также требуется лёгкая стилистическая доработка текста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, дипломный проект выполнен на высоком уровне, демонстрирует техническую грамотность, креативность и междисциплинарную подготовку автора. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам, и заслуживает оценки «отлично» (А) с рекомендацией к защите.

Рецензент



Старший преподаватель кафедры
информационных технологий и
библиотечного дела Казахского
национального женского педагогического
университета, PhD Алимбаева Ж. Н.

« 05 » 06 2025 г

ОТЗЫВ

дипломного проекта (работы)

студента специальности 6B07114 – «Биомедицинская инженерия»

Марат Алдияр Оразғалиұлы

**На тему: «Разработка интеллектуального протеза с использованием
сенсорных систем»**

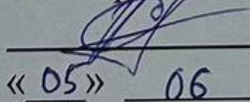
Дипломный проект студента посвящён актуальной и социально значимой теме — созданию прототипа интеллектуального протеза верхней конечности, основанного на использовании ЭКГ-сенсоров и микроконтроллерной платформы Arduino. Работа имеет выраженную междисциплинарную направленность, сочетая в себе элементы биомедицинской инженерии, электроники, мехатроники и программирования.

Автором был проведён подробный анализ анатомии кисти человека, реализована 3D-модель бионической руки, напечатанная на 3D-принтере, а также разработано программное обеспечение для управления протезом на основе биосигналов. Применение ЭКГ-сенсоров в управлении движением — это нестандартный, но перспективный подход, подчёркивающий исследовательский и инженерный характер проекта. Проект демонстрирует высокий уровень самостоятельной работы студента: грамотно подобраны компоненты, реализована система сбора и обработки сигналов, написан и отлажен программный код управления, а также проведено успешное тестирование прототипа. Особо стоит отметить использование дешёвых и доступных компонентов, что делает разработку потенциально применимой для массового производства и использования в странах с ограниченным доступом к современным средствам реабилитации.

Работа оформлена в соответствии с требованиями, содержит подробное описание этапов проектирования, технической реализации и тестирования устройства. Цели и задачи проекта достигнуты в полном объёме. Дипломная работа заслуживает оценки «отлично», а её автор — присвоения квалификации бакалавра

Научный руководитель

Магистр технических наук, преподаватель

 Игембай Е.А.
« 05 » 06 2025 г.



Отчет подобия

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Разработка интеллектуального протеза с использованием сенсорных систем

Автор

Научный руководитель / Эксперт

Марат Алдияр ОразғалиұлыЕрболат Игембай

Подразделение

ИАиИТ

Объем найденных подобий

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках. Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



7677

Количество слов



55332

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		3
Интервалы		0
Микропробелы		4
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		4

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	https://yusupovs.com/articles/issledovaniya/elektromiografiya-emg/	25 0.33 %
2	https://www.essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/92061/1/Monastyriov_mag_rob.pdf	14 0.18 %

из базы данных RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из домашней базы данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из программы обмена базами данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (0.51 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	https://yusupovs.com/articles/issledovaniya/elektromiografiya-emg/	25 (1) 0.33 %
2	https://www.essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/92061/1/Monastyriov_mag_rob.pdf	14 (1) 0.18 %

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---