

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Сәтбаев Университеті

Институт промышленной инженерии им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»

Асипов Ильяс Берикбекулы

Система управления бионической руки

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломной работе

5В071600 – Приборостроение

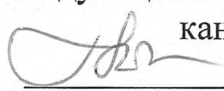
Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Сәтбаев Университеті

Институт промышленной инженерии им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизики»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат техн. наук
 К.А. Ожикенов
«20» 05 2019 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломной работе

Тема: «Система управления бионической руки»

по специальности 5В071600 – Приборостроение

Выполнил

Асипов Ильяс

Рецензент
Доктор PhD

Научный руководитель
магистр техн. наук

 Балбаев Г.К.

 Баянбай Н.А.

«15» 05 2018 г.

«20» 05 2019 г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Сәтбаев Университеті

Институт промышленной инженерии им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»

5B071600 – Приборостроение

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой РТиТСА

кандидат техн. наук

К.А. Ожикенов

«20» 05 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Асипову Ильясу Берикбекулы

Тема: Система управления бионической руки

Утверждена приказом Ректора Университета №452-п от «06» 11 2018 г.

Срок сдачи законченной работы «24» мая 2019 г.

Исходные данные к дипломной работе: SolidWorks, Arduino IDE.

Перечень подлежащих разработке вопросов в дипломной работе:

- а) Анализ основных понятий, видов, классификации, принцип работы бионических протезов верхних конечностей
- б) Изучение основных принципов управления бионических протезов;
- в) Создание первоначальной модели;
- г) Сборка и установка аппаратной части;
- д) Конфигурация программной части;

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):


представлены 12 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 10 наименований _____

ГРАФИК
подготовки дипломной проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологическая часть	15.01 – 05.02.2019 г.	<i>Выполнено</i>
Программная часть	02.03 – 20.04.2019 г.	<i>Выполнено</i>

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

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормконтролер	Ж.С.Бигалиева, магистр технических наук, лектор	20.05.2019 г.	

Научный руководитель



Баянбай Н.А.

Задание принял к исполнению обучающийся



Асипов И.Б.

Дата

« 20 » мая 2019 г.

Аннотация

Данная дипломная работа состоит из введения, теоретической и технической частей, а также заключения и списка использованной литературы. Объем дипломной работы составляет 37 страниц, включает 5 таблиц, 28 иллюстрации.

Выполнен анализ представленных на современном рынке протезов верхних конечностей. Охарактеризованы их достоинства и недостатки. Показана актуальность проведения данной исследовательской работы. Задачами дипломной работы являются исследование понятия протезирования, а также проблем возникающих в ходе создания протезных устройств. В ходе дипломной работы был разработан макет бионической руки способной совершать основные движения и жесты. Разработан способ управления прототипом. Обоснованы выбор модели и аппаратно-программной платформы. Выбран соответствующий требованиям привод.

Annotation

This thesis consists of an introduction, theoretical and technical parts, as well as the conclusion and list of references. The volume of the thesis is 37 pages, includes 5 tables, 28 illustrations.

The analysis of prostheses of the upper extremities presented on the modern market has been performed. Features, advantages and disadvantages of the forearm prostheses were described. The relevance of this research work is shown. The objectives of the thesis are the study of the concept of prosthetics, as well as problems arising in the entrance to the creation of prosthetic devices.

In the course of the thesis, a mock-up of a bionic arm capable of making basic movements and gestures was developed. Designed prototype control. The choice of model and hardware-software platform was justified. An appropriate drive has been selected.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс кіріспеден, теориялық және техникалық бөлімдерден, сондай-ақ қорытынды мен пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Дипломдық жұмыстың көлемі 37 бет, 5 кесте, 28 сурет-иллюстрация.

Қазіргі нарыққа сәйкес ұсынып отырылған жасанды қолға талдау жасалды. Оның артықшылықтарымен кемшіліктері сипатталады. Көрсетілген жұмыстың өзектілігі – оны зерттеу. Дипломдық жұмысының міндеті – жасанды қолға сәйкес ұғымдарды зерттеу және құрылғыны жасау кезінде туындайтын кедергілері шешу. Жұмыс барысында қолдық негізгі қозғалыс, қимыл қаблетін іске асыратын бионикалық қол макеті, оның қозғалатын әрекетіне басқаратын құрылғы жасалды. Аппарат бағдарлама платформасы, модельді таңдау негіздерді. Талапқа сәйкес құрылғы жетегі таңдалды.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	Error! Bookmark not defined.
1 Анализ существующих протезов предплечья .	Error! Bookmark not defined.
1.1 Косметические протезы	Error! Bookmark not defined.
1.2 Механические протезы	Error! Bookmark not defined.
1.3 Бионические протезы.....	Error! Bookmark not defined.
2 Техническая часть работы.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Выбор прототипа.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Выбор серды проектирования.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Создание модели руки	Error! Bookmark not defined.
2.4 Моделирование предплечья	Error! Bookmark not defined.
2.5 Процесс изготовления деталей с помощью 3D печати	Error! Bookmark not defined.
defined.	
2.6 Аппаратно-программные средства и выбор двигателей	Error! Bookmark not defined.
defined.	
2.7 Способ управления прототипом	Error! Bookmark not defined.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Error! Bookmark not defined.
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	Error! Bookmark not defined.
ПРИЛОЖЕНИЯ	Error! Bookmark not defined.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день протезирование шагом крайне важным этапом в социально-трудовой реабилитации человека, с заболеваниями опорно-двигательного аппарата или отсутствия конечности. Средством реабилитации для данной категории инвалидов, является протезирование, целью которого является максимально возможно восстановить функции утраченной конечности и вернуть человека к активной трудовой жизни. Проблемой создания устройства для людей с отсутствующими конечностями человечество занимается с XVI века, однако до сих пор протезы не могут полностью заменить конечность ни в косметическом, ни в функциональном плане. В связи с этим данная проблема требует более детального изучения, что обуславливает актуальность данного исследования.

Тема роботизированных протезов является актуальной и с каждым годом набирает популярность. На данный момент благодаря научным достижениям и развитию технологий у людей с ограниченными физическими возможностями имеется большой выбор возможностей и протезных устройств. Индустрия в этой области не стоит на месте, появляются все новые и новые разработки, которые превосходят свои аналоги. В связи с этим, к основной задаче создания протезов относится создание устройства, которое способно восполнить функции утраченной конечности, то есть вернуть человеку возможность выполнять базовые и бытовые действия.

Функциональность протеза определяется выбором системы управления. К наиболее распространенным относятся тяговый механический, биоэлектрический и миотонический. Однако выбор метода управления для каждого пациента подбирается индивидуально ввиду особенностей и характера ампутации.

Цель данной работы разработка и исследование принципов управления бионического протеза руки, способной выполнять основные жесты и движения. Однако несмотря на технологические успехи в области протезирования создание протеза полностью схожего по кинематическим и функциональным характеристикам отсутствующей конечности и позволяющего полностью компенсировать утраченные после ампутации возможности не является возможным.

Для решения данной проблемы существует множество различных устройств и компонентов. Наиболее просто, и качественно воспроизвести движения руки можно при помощи сервоприводов. Для достижения цели в ходе выполнения требуется решить следующие задачи
Первым этапом исследования является литературный анализ источников по данной тематике. Изучение существующих протезов верхних конечностей, классификация способов управления.

Второй этап посвящен выбору конструкции будущего протеза, создание чертежа и макета в графической среде. Внешний вид конструкции должен быть максимально схож с настоящей рукой. Выбор и расчет приводов соответствующих нагрузочным требованиям. Выбор аппаратно-программных средств для регулирования и управления приводами.

Третьим, и финальным этапом является изготовление прототипа бионической руки с помощью использования аддитивной технологии 3D печати. В качестве расходных материалов используются полимерный пластик, акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) и полилактид (PLA). Сборка деталей в финальный прототип. Разработка алгоритма управления комплексом сервоприводов. Написание программного кода. Использование различных методов управления бионической рукой. Тестирования и корректировка прототипа.

1 Анализ существующих протезов предплечья

Протезирование – комплекс медико-социальных мероприятий, целью которых является возмещение анатомических и функциональных дефектов человека при помощи протезно-ортопедических средств. Целью протезирования является максимально возможно восстановить утраченные функции конечности или органа и возвращение инвалида к активной трудовой деятельности. Протезом называют механическое устройство, предназначенное заменить отсутствующие сегменты конечности или какой-либо другой части тела и служащие для функционального и косметического восполнения дефекта.

Все протезы верхних конечностей по функциональному признаку можно разделить:

- Косметический
- Механический (Тяговый)
- Бионический (биоэлектрический)

1.1 Косметические протезы

Косметические или пассивные протезы являются наиболее примитивными. Они предназначены сугубо для воссоздания естественного внешнего вид и используются, соответственно, в случаях, когда форме, весу, удобству ношения, простоте обслуживания и применения отводится первостепенная роль. У данного вида протезов отсутствует активный хват, что не позволяет восполнить функции утраченной верхней конечности.



Рисунок 1 - Косметический протез предплечья

Косметический протез состоит из культеприемника, каркаса кисти и косметической перчатки. Достоинства и недостатки данного вида протеза приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки косметических протезов

Достоинства	Недостатки
Внешний вид схожий с настоящей рукой	Отсутствие активного захвата.
Простое изготовление и эксплуатация	Ограниченная функциональность
Обслуживание не требует больших финансовых затрат на техническое обслуживание	Высокая цена индивидуальных силиконовых оболочек
Возможность использования во влажной среде	

1.2 Механические протезы

Механическим (тяговым) называют протез управления схвата в котором осуществляется с помощью тяг. В таком виде протезов сила сжатия контролируется силой человека. Управление выполняется при помощи различных отделов руки. Выполняя хват, человек сам регулирует силу сжатия схвата и скорость реакции. Такой протез позволяет тренировать и развивать мышцы, держать их в тонусе, не давая атрофироваться.

Такой вид работает как от плечевой, так и от локтевой или лучезапястной части конечности. При длительном пользовании больные могут совершать множество сложных действий и движений. Такие, как написание текста, перемещение груза, игра в теннис.

Механический протез состоит из:

- Манжеты-гильзы, закрепляющейся на культе;
- пластмассовой чашки для культи;
- кисти или крючка;
- кабеля и манжеты для противоположного плеча, благодаря движениям которого осуществляется активное отстегивание крючка или кисти.

Достоинства и недостатки механического протеза указаны в таблице 2.



Рисунок 2 - Общий вид механического протеза

Таблица 2 – Достоинства и недостатки механического протеза

Достоинства	Недостатки
Функционал	Неестественность движения
Надежны в использовании	Дискомфорт и давление на культю при схвате
Простой принцип работы	Ограниченность силы захват из-за силовых возможностей человека.
Возможность использование во влажной среде (возможность плавать)	Неэстетичный внешний вид
Относительно невысокая цена	Низкое количество степеней свободы

1.3 Протезы с биоэлектрическим управлением

В результате прогресса науки и техники позволило создать протезы, которые управляются с помощью регистрации биоэлектрических потенциалов тела человека. К числу таких протезов относятся к биоэлектрическим протезам. Такие протезы на сегодняшний день являются самыми продвинутыми и передовыми.



а



б

Рисунок 4 – а – Биоэлектрический протез руки с кистью Michelangelo, б – Биоэлектрический чувствительный протез руки SmartHand

Основными функциями данного протеза являются вращение кисти, захват и удержание предметов. Главным плюсом биоэлектрических протезов является высокая сила захвата, а также большое число степеней свобод. Из-за своих уникальных функций бионический протез позволяют людям манипулировать предметами малого размера, такими как столовые приборы, шариковые ручки и т.п., как и прежде. Данный вид оснащен на концах пальцев специальным мягким материалом, который позволяет работать с маленькими предметами.

Несмотря на всю инновационность и достоинства бионических протезов, у него имеются свои недостатки:

- Сложная электроника устройства требует постоянное техническое обслуживание
- Крайне высокая стоимость и увеличенный вес в сравнении с другими видами протезов. Стоимость биоэлектрической руки составляет в пределах 10 миллионов тенге.
- Короткое время работ от аккумулятора. Полностью заряженного аккумулятора хватает на 6-8 часов работы, следовательно, такой протез требуется снимать и ставить на зарядку.
- Отсутствует защита от влаги. С таким протезом нельзя принимать душ и посещать бассейны.

В качестве примера рассмотрим модель современного миоэлектрического протеза модель BeBionic Small, разработанную британской компанией RSLSteeper. Каждая фаланга пальца оснащена собственным мотором, а микропроцессор отслеживает положение каждого пальца. У данного протеза 14 степеней захвата, что позволяет контролировать силу захвата предметов. Помимо этого у руки имеется функция автозахвата. Если из захвата протеза выпадает предмет, микропроцессор автоматически усиливает силу захвата.

Данный протез компании bebionic выпускается в трех форм-факторах: Маленький (160x70 мм), средний (175x83 мм), большой (180x91 мм). Корпуса изготавливаются на выбор из кевлара или карбона. Помимо этого рассматривается возможность нанесения рисунков. Перечень особенностей данной модели:

- Отдельный двигатель для каждого пальца;
- Контроль и регулирование положения каждого отдельного пальца;
- 14 вариаций хвата;
- Контроль скорости движения;
- Автоматический захват;
- 4 варианта запястья;
- Специальный механизм пальцев, который имитирует естественные движения руки в расслабленном состоянии;
- Грузоподъемность до 45 кг;
- Наличие кнопок.

Кнопки используются для включения и выключения протеза, настройки Bluetooth, смены захвата и изменении режимов работы.

Протезы bebionic предлагают на выбор 4 варианта механизма запястья: Quick-Disconnect, Multi-Flex, Flexion и Short Wrist. Quick Disconnect, как следует из названия, позволяет быстро вращать и отсоединять руку и заменять другими устройствами. Кисть может вращаться как автоматически, при помощи двигателей, так и вручную. Multi-flex запястье может сгибаться в любые направления и быть зафиксировано в одном из трех положений: сгиб на 30 градусов, разжим на 30 градусов и в нейтральном положении. Запястье Flexion – является универсальным сгибающимся устройством, которое также может фиксироваться в любом положении. Отличием Short запястья является уменьшенная длина, что применимо к использованию при длинных предплечьях у пациентов, а вращение осуществляется в пассивном режиме. Запас аккумулятора выбирается опционально: два аккумулятора по 1300 мАч, либо один или два 2200 мАч. Рабочее напряжение протеза составляет 7,4 В.



Рисунок 6 – Кисти bebionic

Еще одним примером бионического протеза является Touch Bionics. У данной модели есть 3 разновидности кисти i-limb (ultra, revolution и quantum).

Версии i-limb имеют одинаковый внешний вид, однако отличаются они функционалом и доступными опциями. Они изготавливаются в 4 разных размерах: extra small, small, medium, large.

I-limb ultra – базовая комплектация кисти. К особенностям относятся:

- Система vari-grip, позволяет распределять нагрузку между всеми пальцами;
- Большой палец кисти регулируется и управляется вручную;
- Возможность управлять через мобильное приложение и с помощью сокращения остаточных мышц;
- Автозахват для предотвращения выскальзывания предметов;
- Автоматическое возвращение руки и исходное положение после длительного бездействия;
- Звуковые уведомления при малом заряде батареи;
- Титановые пальцы, обеспечивающие прочность конструкции;
- В комплект поставки входит рабочая и косметическая перчатки.



Рисунок 7 – Кисти i-limb

Переключение типов захвата осуществляется как с помощью мобильного приложения, так и мышечного управления. Для мышечного управления используется 4 комбинации:

- Постоянное сокращение
- Двойное сокращение;
- Тройное сокращение;
- Сокращение мышц сгиба и разгиба.

Каждой из вышеперечисленной комбинации привязывается определенное действие или движение, которые пациент выбирает по своему усмотрению. В качестве источника питания протез использует от одного до двух Литий-полимерных аккумуляторов с емкостью 1300 или 2000 мАч. Рабочее напряжение 7.4 В. Выдерживаемая протезом нагрузка на кисть составляет 90 килограмм для кисти и 32 килограмма на каждый палец.

Следующим представителем протезов в серии i-limb является i-limb revolution. Данная модель идентична своему предшественнику, однако имеет следующие отличия:

- Добавлен двигатель для управления большим пальцем
- Число вариаций хвата увеличено до 36;

- Добавлена поддержка grip chips

С увеличением функционала, увеличился и вес протеза до 628 г.

Chip grips – это инновационный способ управления протезом. С помощью Bluetooth передачи, протез соединяется со специальным чипом grip chip, за которым закреплен определенный вид захвата. Когда рука приближается к grip chip'у происходит автоматическая смена схвата. Габариты чипа крайне малы, и составляют около 2-3 см в диаметре, имеются световые и звуковые уведомления.



Рисунок 8 - Grip chip

Третий и последний в данной серии протез i-limb quantum, отличается от предшественников наличием следующих нововведений:

- Новая технология управления i-mo
- Увеличена максимальная скорость движения пальцев на 30%
- Увеличена максимальная сила хвата на 30%
- Автоматическая смена положения большого пальца.

Благодаря новой технологии i-mo человек может менять тип схвата совершая определенные движения протезом. Для регистрации данных движений, протез был оснащен датчиками движения. В остальном же, протез ничем не отличается от i-limb revolution.

Несмотря на все успехи области протезирования и управления, множество проблем остаются нерешенными по сей день. При использовании современных бионических протезов люди сталкиваются с такими проблемами как высокий вес конструкции, несоответствие протеза реальной конечности, неестественные движения и дополнительные усилия, что доставляет дискомфорт и изматывают человека. В совокупности все вышперечисленные недостатки вынуждают пациента прилагать чрезмерные усилия, вызывают дискомфорт, в результате чего использование протеза становится обременительным и лишается естественности управления и движения, присущей настоящей конечности.

1.4 Способы управления бионических протезов

Биоэлектрические протезные устройства обычно управляются они одним из трех основных методов управления: нейрокомпьютерный, нейроэлектрический, электромиографический (миоэлектрический).

Нейрокомпьютерный метод использует в качестве исходной информации сигнал с коры головного мозга. Сигнал снимается при помощи отведений, которые хирургически вживляются в кору головного мозга. Получаемые в результате данные обрабатываются и передаются на механическую часть протезного устройства. Такой метод управления используют люди, которые страдают от паралича конечностей, вызванного в следствии нарушения нейронных связей между мозгом и конечностью. Главный минус такого метода управления является инвазивность, которая создает риск повреждения и заражения мозга при вживлении датчиков и электродов.

Нейроэлектрический метод управления использует сигналы, считываемые с активных двигательных нервов человека. В таком методе электроды могут как вживлять в нервную ткань или установлены над ними. К главным плюсам нейроэлектрического метода является: возможность вернуть чувствительность путем электрической стимуляции нервных волокон, а также отсутствие зависимости от отвечающих за функцию ампутированной конечности. К недостаткам же можно отнести: инвазивность, низкая амплитуда информативного сигнала по сравнению с источниками биопотенциалов, необходимость создания и организации чрескожного интерфейса, невозможно использовать при полном параличе конечностей. Основной опасностью при использовании такого типа протезов является возможность повредить нерв и прилежащих тканей, послеоперационное заражение организма.

Электромиографический метод подразумевает использование в качестве исходного сигнала для управления протезным устройством миоэлектрический сигнал. Миоэлектрический сигнал – сигнал, который снимается с возбужденных волокон мышц или в результате изменения объема мышц при их сокращении.

Принцип такого способа управления состоит в регистрации биоэлектрических сигналов с помощью двух электродов на культе. После этого слабое микровольтное напряжение усиливается и передается на микроконтроллер блока управления, где полученный сигнал анализируется и преобразуется в команду исполнительного механизма. Главными плюсами такого метода являются его не инвазивность и простота реализации управления. Основным условием же является сохранность активных и целостных мышц, отвечающих за управление отсутствующей конечности.

Конструкция состоит из культеприемной гильзы, в которую вкручены специальные миодатчики. Они требуются для того чтобы улавливать изменения электрических потенциалов мышц. Информация из датчика поступает в аппаратную часть протеза, и в следствии биопротез выполняет необходимый

жест или движение. Современные протезные устройства используются всего два мышечных датчика, которые считывают активность двух крупных групп мышц.

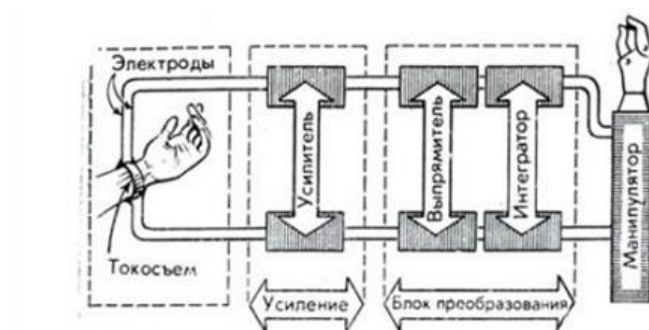


Рисунок 9 - Принцип управления бионического протеза

2 Техническая часть работы

2.1 Выбор прототипа

При выборе прототипа необходимо изучить руку с точки зрения биомеханики. Свободная верхняя конечность это незамкнутая шарнирно-рычажная кинематическая цепь. Звенья приводятся в движение при помощи системы присоединительных групп мышц. Рассмотрим структурную кинематическую цепь конечности.

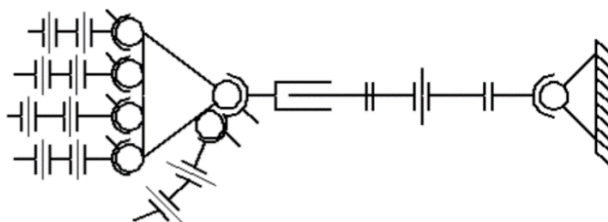


Рис. 10 Структурная цепь руки

Помимо этого, человеческая рука обладает крайне высокой гибкостью и маневренностью, благодаря большому числу степеней свободы – 27 степеней свободы, при этом 20 степеней отвечают за движение кисти. Количество степеней свободы в различных суставах руки указаны в таблице 3.

Таблица 3 – Данные о числе степеней свободы кисти человека

№ п/п	Суставы	Число степеней свободы сустава
1	Плечевой	3
2	Локтевой	1
3	Лучелоктевой	1
4	Лучезапястный	2
5	Запястно-пястный первой пястной кости	2
6	Пястно-фаланговый сустав первого пальца	1
7	Межфаланговый сустав первого пальца	1
8	Пястно-фаланговые суставы 2-5 пальцев	8
9	Межфаланговые суставы 2-5 пальцев	4
10	Дистальные межфаланговые суставы 2-5 пальцев	4
	Всего	27

После детального анализа и изучения структурной схемы руки в качестве прототипа было решено использовать модель с пятью фалангами пальцев, которые имеют возможность независимо друг от друга выполнять движения. Причиной выбора такой модели кисти является максимально возможное приближение прототипа к настоящей руке с морфологической точки зрения.

2.2 Выбор среды проектирования

Для моделирования прототипа бионической руки потребуется система автоматизированного проектирования. Наиболее оптимальной и стабильной программой является программа SolidWorks. Это среда проектирования неотъемлемая часть промышленных предприятий, к задачам которых относятся разработка и производство приборов и изделий различного назначения. В SolidWorks используется принцип трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования, что позволяет создавать объемные детали, а также компоновать сборки деталей в виде трехмерных моделей. С помощью этих моделей можно создать двухмерные чертежи и спецификации в соответствии с ЕСКД.

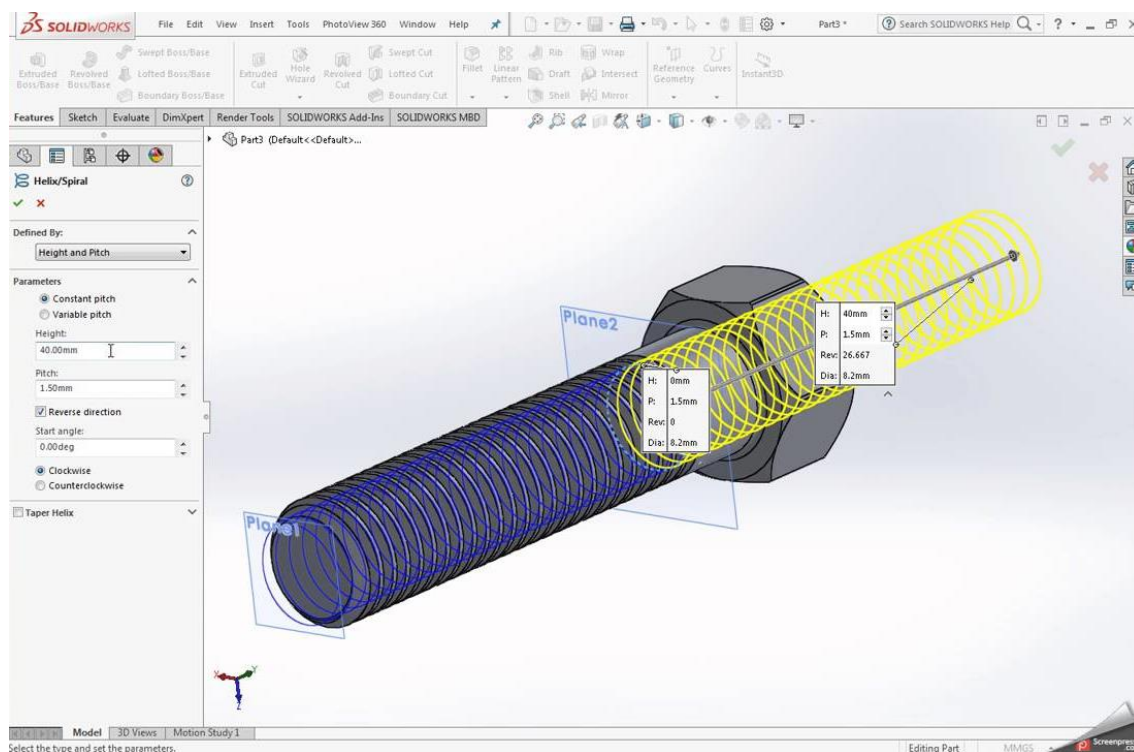


Рисунок 11 - Интерфейс программы SolidWorks

3D моделирование предоставляет множество преимуществ перед обычным двумерным проектированием. К их числу относятся исключение ошибок

собираемого изделия на стадии проектирования. Также есть возможность рассмотреть будущее изделие с любой стороны и в любом объеме. К тому же 3d системы позволяют смоделировать изделия без создания чертежей и опытных образцов.

2.3 Создание модели руки

Первый этап моделирования – создание пальцев. У человека все пальцы рук, кроме большого, состоят из трёх фаланг. А строение большого пальца из двух фаланг. Эти фаланги называются основной, средней и ногтевой. При моделировании пальцев было решено опираться на строение настоящего пальца.

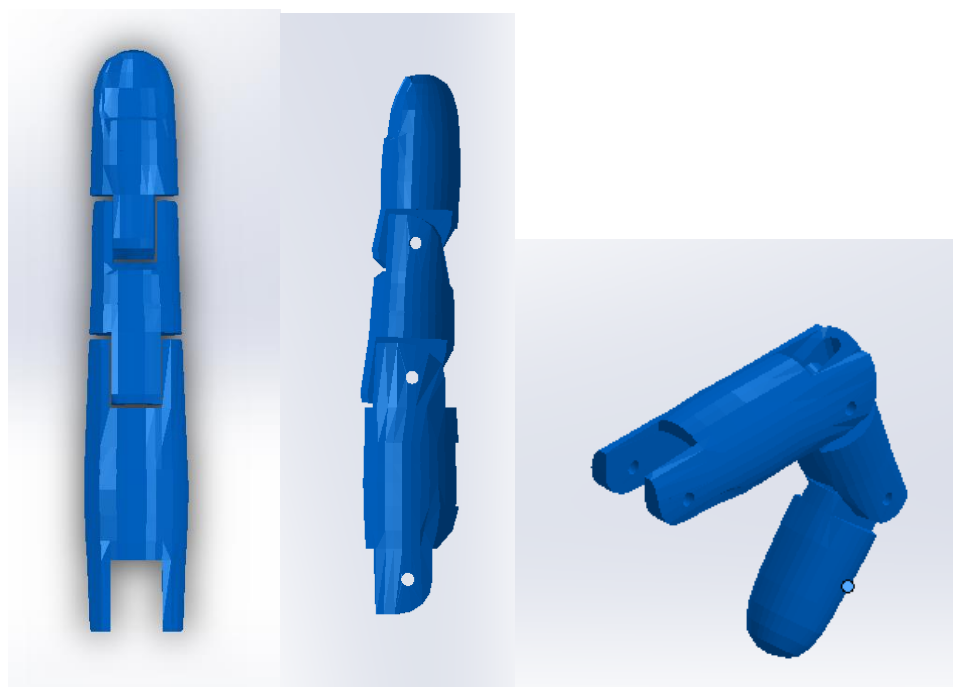


Рисунок 13 - Этап создания пальцев

По такому же принципу были смоделированы и остальные пальцы, при этом необходимо учитывать их размеры относительно друг друга и сохранять пропорции.

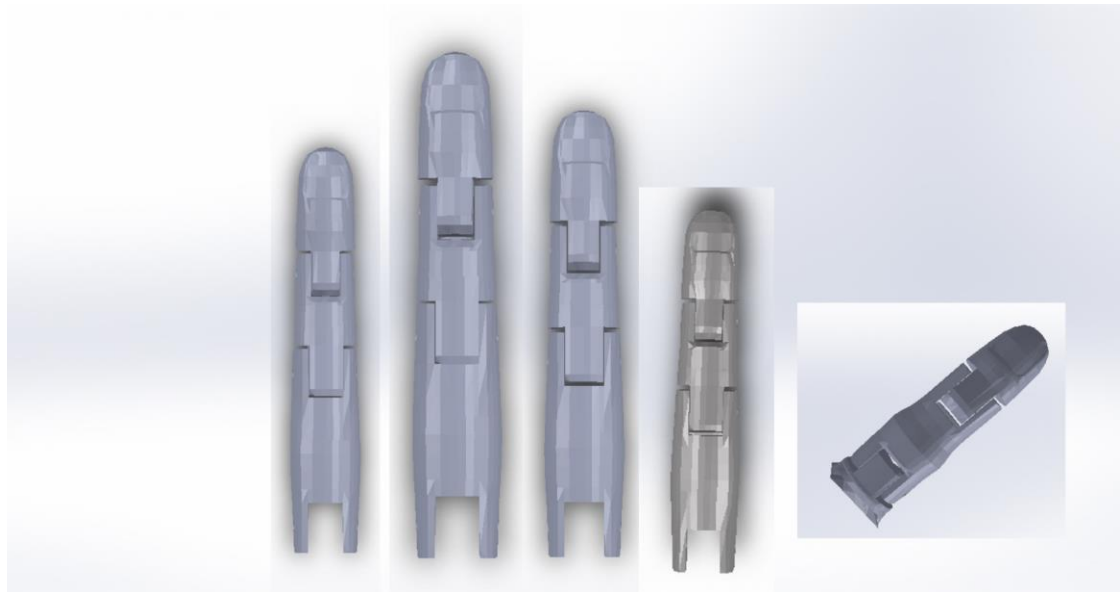


Рисунок 14 - Модель пальцев

Следующим этапом является создание ладони протеза. На модели ладони присутствует 5 необходимых креплений для пальцев. Также необходимо учесть крепление к части предплечья. Первая модель ладони была целостной и без подвижных элементов.

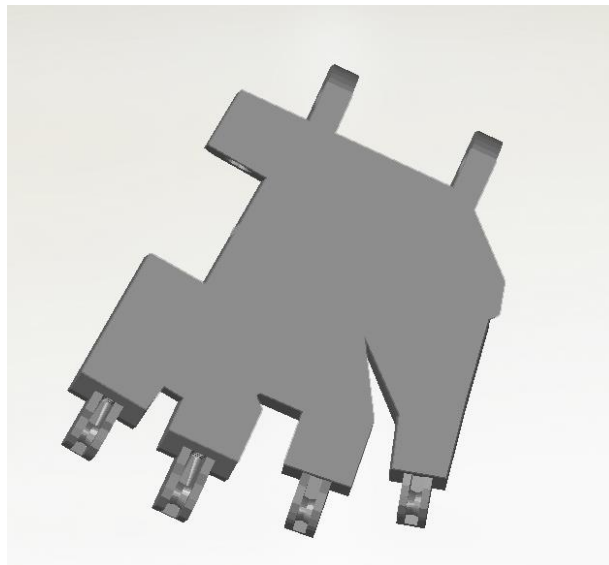


Рисунок 15 - Целостная модель кисти

Однако, такая модель ладони не была применена к прототипу, так как отсутствие подвижных элементов делает полное сжатие недостаточно полным и неестественным. После более подробного изучения анатомии кисти человека, было выяснено, что при сжатии руки в кулак в движении участвуют не только фаланги пальцев, но и кости самой пясти (ладони). В связи этим было решено

добавить для безымянного пальца и мизинца добавить еще по одному месту сгиба.

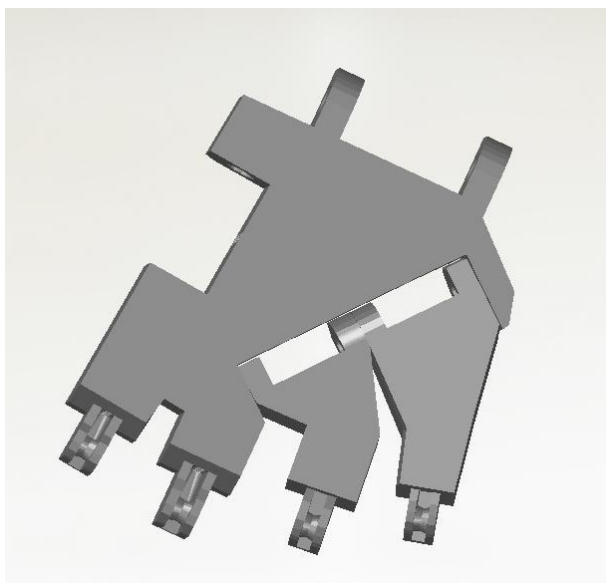


Рисунок 16 - Модель кисти с подвижными пальцами

Благодаря данному нововведению ладонь и кисть в целом движение и хват руки становится более гибким. В качестве оси для вращения предусмотрено отверстия для болта и гайки.

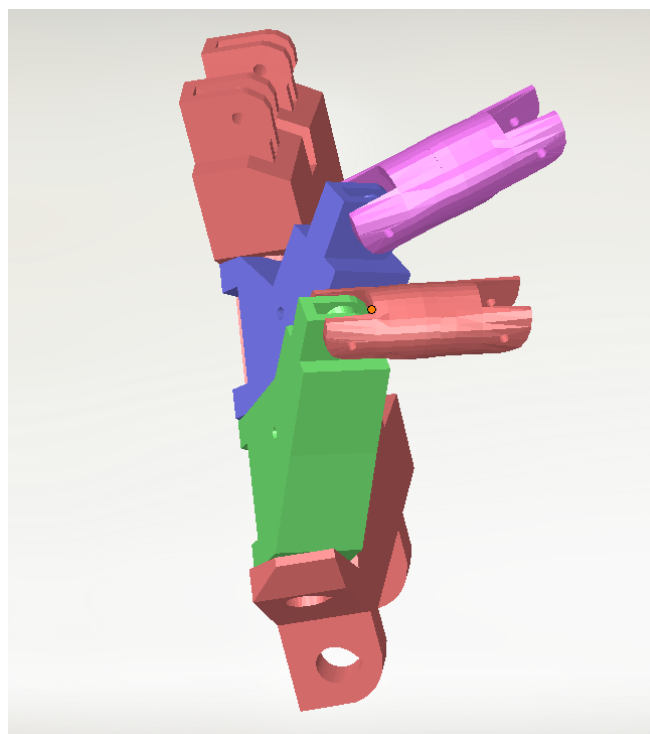


Рисунок 17 – Место сгиба пальцев

Заключительным этапом является корректировка неточностей деталей, а также сборка в одну готовую модель.

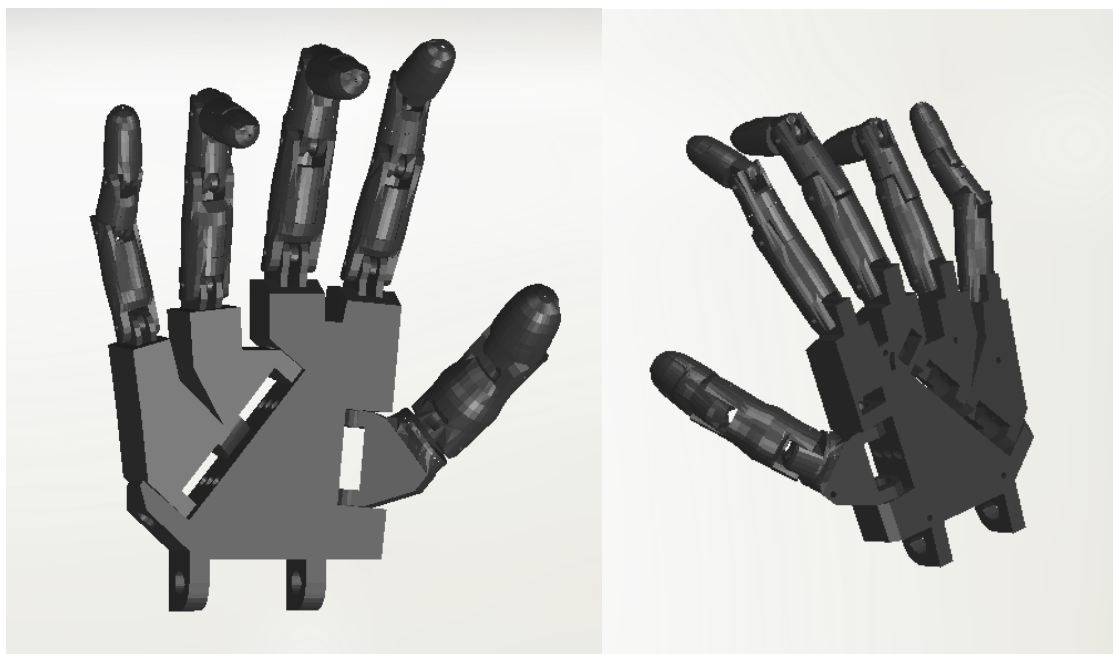


Рисунок 18 - Собранная модель кисти

2.4 Моделирование предплечья

В моделировании предплечья была выбрана полая конструкция, внешне имитирующая предплечье человека. В полых частях предусмотрено пространство для установки моторов, проводов, кабелей натяжения, микроконтроллера и т.п.

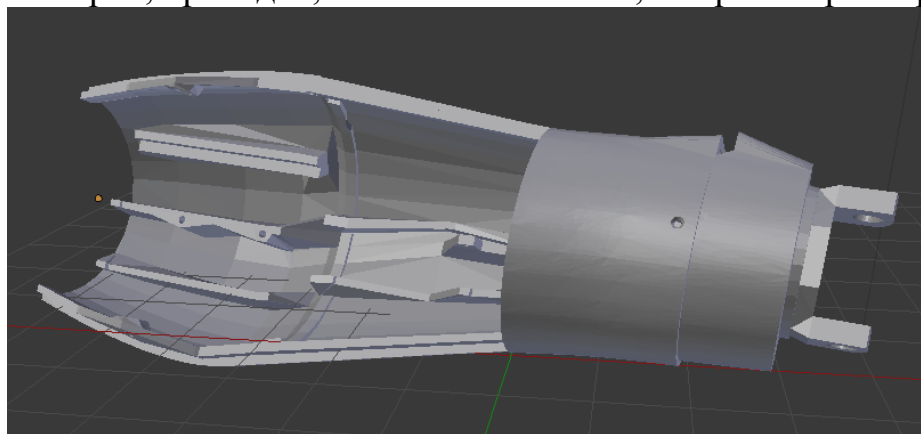


Рисунок 19 - Модель предплечья

Для реализации вращения кисти, был использован дополнительный мотор, связанный с кистью с помощью зубчатой передачи. Причем, маленькие отверстия в большой шестерне необходимы для организации нитей натяжения.

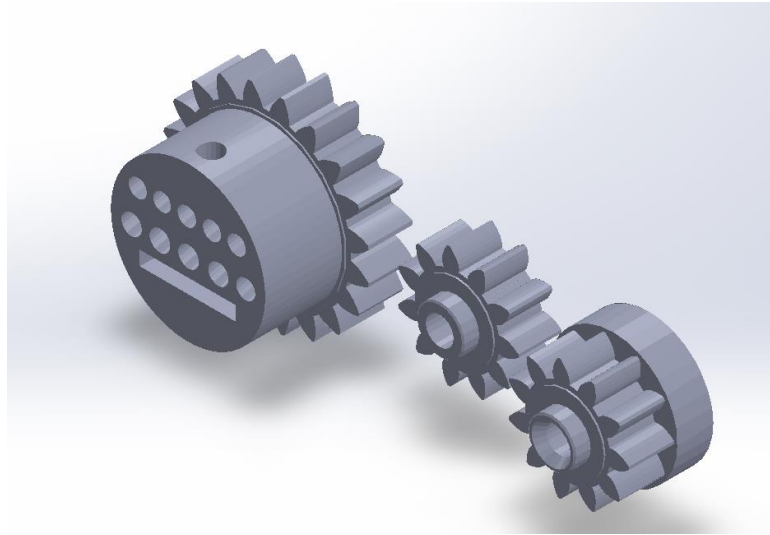


Рисунок 20 - Шестерни для вращения кисти

Места крепления кисти и предплечья идентичны друг другу и фиксируются с помощью резьбового болта. В детали кисти также предусмотрены отверстия для нитей.

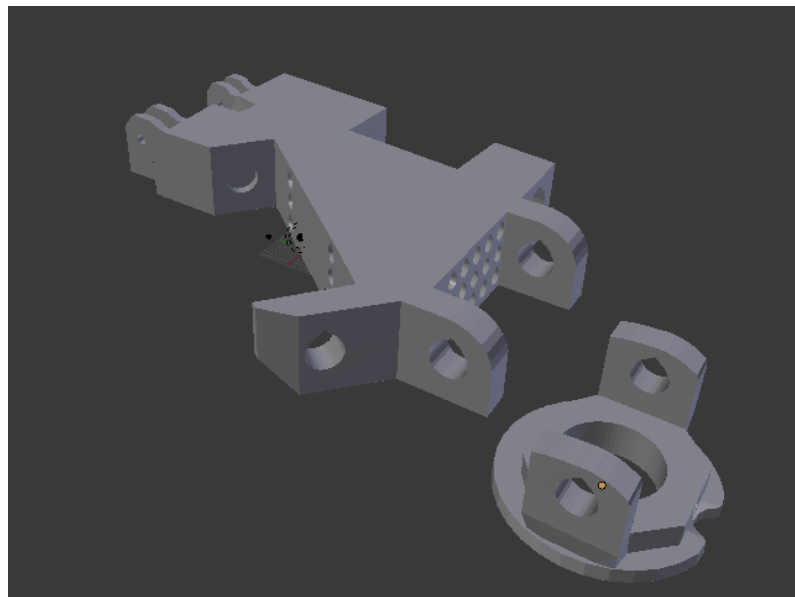


Рисунок 21 – Способ крепления кисти к предплечью

На этом этап моделирования прототипа бионической руки окончен. В результате мы получили готовую трехмерную модель. В будущем имеется возможность улучшения или редактирования конструкции.

2.5 Процесс изготовления деталей с помощью 3D печати.

Сегодня 3D-печать является революционной технологией и интерес вокруг данного способа создания деталей очень велик. 3D печать позволяет

изготавливать изделия с крайне высокой точностью, и при этом стоимость печати не требует больших финансовых вложений. Область применения данной технологии охватывает практически все области деятельности. Сфера протезирования не является исключением. Последней исследования в области медицины позволили печатать на 3D принтерах протезы, имплантаты и даже целые, работоспособные органы.

Перечень используемого 3D принтером материалов достаточно большой. В качестве сырья могут быть использованы множество видов пластиков а также металлов. Благодаря гибкости технологии 3D-принтинга, имеется возможность печати изделий и деталей, разработанных в средах моделирования индивидуально. При создании деталей, печать осуществляется с максимальной точностью, что крайне важно для отрасли медицины и протезирования.

В связи с вышеперечисленными достоинствами 3d печати, было принято решение об использовании данной технологии при создании прототипа бионической руки.

Для распечатки деталей был использован продукт российских разработок, 3D принтер Picaso pro 250. Компания PICASO 3D является первым российским производителем 3D принтеров, основанным в 2010 году. Уже множество лет PICASO 3D является ведущим производителем принтеров Российской Федерации. Важными критериями продукции данной компании являются качество изделий, удобство использования и надежность. Технические характеристики данного принтера приведены в таблице 4.



Рисунок 22 – 3D принтер Picaso pro 250

Таблица 4 – Технические характеристики 3D принтера Picaso pro 250

Общие параметры	
Тип устройства	3d принтер
Модель	Picaso 3D Designer PRO 250
Код производителя	Picaso Designer Pro 250
Основные характеристики	
Назначение	Прототипирование, дизайн
Технология формирования слоев	FDM/FFF
Количество экструдеров	2
Диаметр сопла	0.3 мм
Рабочий материал	ABS, PLA, PET, Nylon, ASA, Elastic, PVA, HIPS
Минимальная толщина слоя	0.05 мм
Максимальная толщина слоя	0.25 мм
Скорость построения	150 мм/с
Ширина рабочего пространства	200 мм
Глубина рабочего пространства	200 мм
Высота рабочего пространства	210 мм
Интерфейсы	SD, USB
Программные требования	
Основная рабочая программа	PICASO 3D Polygon 2.0
Альтернативные программы	Нет
Поддерживаемые файловые форматы	STL, PLG
Совместимость с операционными системами	Windows, MAC
Наличие экрана	LCD-дисплей
Габариты и вес	
Ширина	390 мм
Высота	350 мм
Глубина	490 мм
Вес	15 кг
Вес полной поставки	19 кг

Данный принтер использует специальное программное обеспечение Polygon 2.0. Это обеспечение, которое подготавливает цифровые 3D-модели для печати на устройствах компании PICASO. Интерфейс данной программы максимально прост и интуитивно понятный. Данный продукт распространяется абсолютно бесплатно.

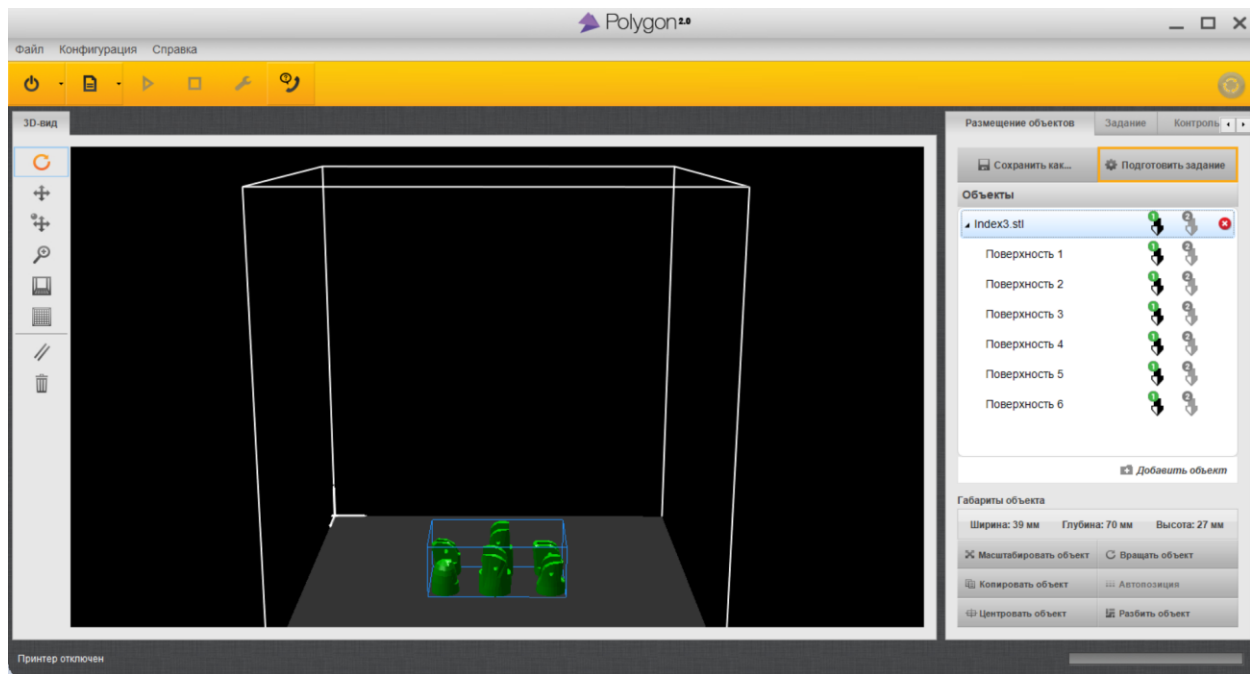


Рисунок 23 - Интерфейс программы Polygon 2.0

Перед началом изготовления необходимой детали, очень важно подготовить исполняемое задание и задать настройки печати. К таким параметрам относятся высота слоя, качество печати, процент заполнения внутри детали, степень поддержки, выбор материала и типа сопла. После подготовки задания будет рассчитано приблизительное время изготовления детали, а также в ходе печати на экране будет отображаться о процессе печати, температуры и стоимость затрачиваемого пластика.

После печати всех необходимых деталей нужно отделить подложку, и выровнять все неровности наждачной бумагой. После этого совершить сборку модели.

2.6 Аппаратно-программные средства и выбор двигателей

Для управления двигателями прототипа, требуется выбрать микроконтроллерное устройство. Для этого было решено платформу Arduino, а именно использование модели UNO. Данная платформа базируется на микроконтроллере ATmega328. Здесь присутствует 20 цифровых разъемов ввода и вывода, USB подключение, порт Power jack, кварцевый генератор 16 МГц, внутрисхемное программирование ICSP и кнопки интерфейса. В качестве питания Arduino использует USB подключение к персональному компьютеру, либо с помощью блока питания и батареи. Технические характеристики платы Arduino UNO указаны в таблице 5.

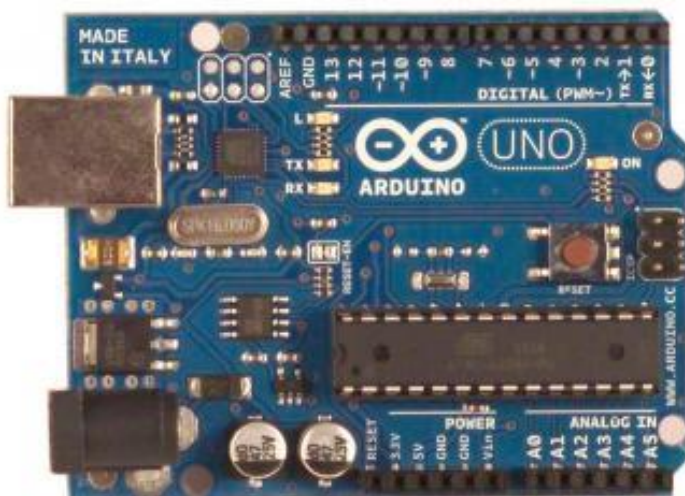


Рисунок 24 – плата Arduino Uno

Таблица 5 – Технические характеристики плат Arduino Uno

Микроконтроллер	Atmega328
Величина рабочего напряжения	5 В
Диапазон рекомендуемого входного напряжения	7 – 12 В
Диапазон входного напряжения	6 – 20 В
Число цифровых разъемов ввода и вывода	14
Число аналоговых входов	6
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Постоянный ток для вывода 3,3В	50 мА
Flash – память	32Кб , из которых 0,5 Кб используются для загрузчика
RAM	2 Кб (Ф)
EEPROM	1 Кб
Тактовая частота работы	16 МГц

В качестве среды разработки компания разработала специальное приложение Arduino IDE (Integrated Development Environment). Данное программное обеспечение предназначена для программирования, тестирования платы Arduino. Особенности Arduino IDE являются простота использования, широкий функционал и легкое освоение. Для добавления дополнительной функциональности предусмотрено подключение специальных библиотек, что позволяет интегрировать Arduino во множество сфер. Язык программирования

плат Arduino базируется на популярном языке C/C++, который объединен с библиотекой AVR Libc и использовать все ее функции.

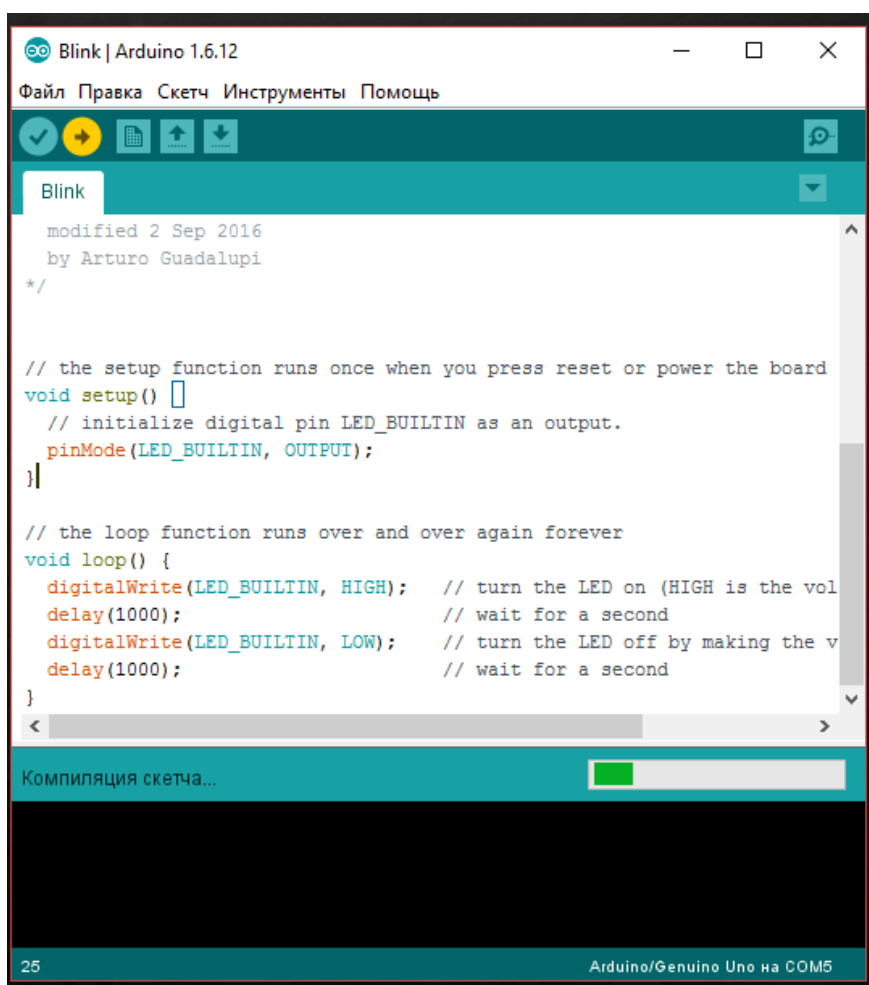


Рисунок 25 - Интерфейс Arduino IDE

Для беспроводного управления протеза используется технология беспроводных персональных сетей Bluetooth. Наиболее популярными и практичными bluetooth устройством, способным интегрироваться с Arduino являются модуль HC-05.



Рисунок 26 – Bluetooth модуль HC-05

Основные характеристики HC-05:

- Рабочие частоты 2,4 – 2,48 ГГц;
- Мощность передачи 0,25 – 2,5мВт;
- Дальность 10 м;
- Максимальная скорость обмена данными 115200 бод;
- Питание 3,3В;
- Ток 30-40 мА;
- Рабочие температуры от -25С до 75С.

В разработанном прототипе использованы серводвигатели MG995. Возможность вращения выходного вала составляет 120 градусов (по 60 градусов в каждом направлении). Сервопривод MG995 имеет возможность интеграции с любыми контроллерами в число которых входит Arduino. Корпус изготовлен из пластика. Внутри находится редуктор с металлическими шестернями.

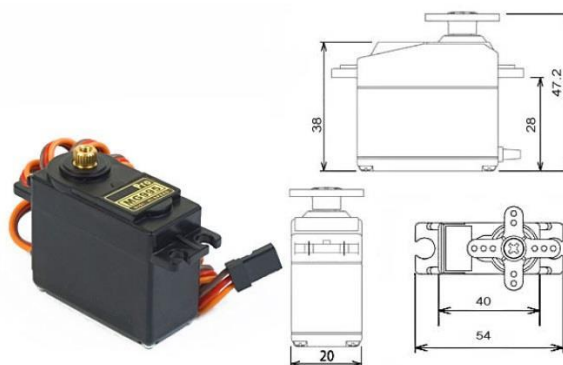


Рисунок 27 – сервопривод MG995

Технические характеристики

- Масса: 55 грамм;
- Габаритные размеры: 40.7 x 19.7 x 42.9 мм;
- Крутящий момент: 10 кг x см (при напряжении 6 В);
- Скорость вращения: 0.16 с/60° (при напряжении 6 В);
- Рабочее питание: 4.8-7.2 В
- Температурный диапазон: до 55°С

2.7 Способ управления прототипом

В качестве способа управления протезом было решено использовать беспроводную технологию Bluetooth, а также модуль HC-05 совместимый с Arduino. Сегодня смартфон является неотъемлемой частью жизни большинства людей. Развитие отрасли дало возможность управлять платформой Arduino

практически с любого мобильного устройства, оснащенного Bluetooth. Для управления использовано приложение Robogemo, которое находится в открытом доступе. С помощью данного приложения можно посылать запрограммированные команды на Arduino, используя Terminal.

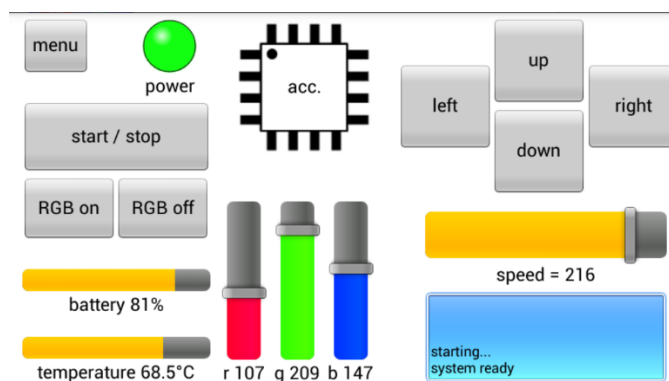


Рисунок 28 – Интерфейс программы

Преимуществом данной программы является ее доступность и простота использования. Для бионической руки использовано управление основными жестами, с помощью соответствующих кнопок.

Еще одним рассмотренным способом управления, является голосовое управление. Принцип управления схож с предыдущим способом, однако в данном способе есть возможность изменения захвата руки, с помощью только голоса. Для этого, каждому жесту привязывается определенная голосовая команда. После распознавания необходимой команды, приложение отправляет на исполнение Arduino соответствующий программный код. В качестве системы распознавания речи используется технология Google, которая находится в открытом доступе и может взаимодействовать с другими приложениями (см. Приложение).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были изучены проблемы протезирования верхних конечностей, мировое состояние данной отрасли на текущий момент. Согласно с поставленной целью работы был разработан прототип бионического протеза руки. В ходе работы были решены следующие задачи: анализ существующих протезов верхних конечностей, составлена структурная схема руки человека, с помощью средств автоматизированного моделирования с нуля была смоделирована модель протеза руки. Обоснованы причины выбора 3D печати, микроконтроллерной платформы, приводов управления кисти.

Выбор данного метода управления протеза не является совершенным способом управления, однако, он наиболее приемлемый для большинства людей с проблемами верхних конечностей, потому что возможна простая индивидуальная настройка режимов схвата под требования пациента; не требуется хирургического вмешательства.

Основываясь на результатах выполненной работы можно сделать выводы, что использование 3D печати в области протезирования позволяет значительно уменьшить стоимость изготовления протеза, а также возможность модифицировать модель для каждого пациента индивидуально, без особых трудностей. Микропроцессорная плата Arduino обладает широким функционалом, что позволяет экспериментировать с различными элементами при прототипировании устройств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протезы рук // Официальный сайт компании Novea // Электронная версия на сайте <http://novea.msk.ru/prosthetic-hand.html>.
2. Протезирование верхних конечностей // Электронная версия на сайте <http://www.ottobock.ru/prosthetics/upper-limb-prosthetics>.
3. The bebionic artificial hand grip patterns // Электронная версия на сайте http://bebionic.com/the_hand/grip_patterns
4. Кужекин А.П. Конструкции протезно-ортопедических изделий. – М.: Легкая промышленность, 1984 г.
5. Технология изготовления протезов верхних конечностей: Метод. пособие/ В.Г.Петров / Под. Ред. Г.Н. Бурова. –СПб. :Гиппократ, 2008 г.
6. Протезы верхних конечностей // Медицина Германии // Электронная версия на сайте <http://medicina-germany.ru/protezy-verxnix-konechnostej>
7. Трушев Н.В., Григорьев М.Г., Авдеева Д.К. Применение наносенсоров для построения нанобиоинтерфейса для миотонических протезов // Современные техника и технологии: сборник трудов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: ТПУ, 2014.
8. Turushev, N. V., Grigoriev, M. G. and Avdeeva, D.K. Bioelectrical nanosensors: Prothesis interface appliance perspectives // 2014 the 4th International Workshop on Computer Science and Engineering – Summer. Dubai: Science and Engineering Institute, 2014.
9. Чернышев А. А., Мустецов Н.П. Алгоритм управления многофункциональным протезом руки // Информационные технологии в медицине. – 2014.
10. Материал «Что такое Ардуино?» // Электронная версия на сайте <http://arduino.ru/About>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

```
#include <Servo.h>
int val;
Servo myservo1;
Servo myservo2;
Servo myservo3;
Servo myservo4;
Servo myservo5;
Servo myservo6;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  myservo1.attach(3);
  myservo1.attach(5);
  myservo1.attach(6);
  myservo1.attach(9);
  myservo1.attach(10);
  myservo1.attach(11);
}
void loop()
{
  if (Serial.available())
  {
    val = Serial.read();
    // При символе "1" сжим всех пальцев
    if (val == '1')
    {
      myservo1.write(180);
      myservo2.write(180);
      myservo3.write(180);
      myservo4.write(180);
      myservo5.write(180);
    }
    // При символе "0" выключаем светодиод
    if ( val == '0')
    {
      myservo1.write(0);
      myservo2.write(0);
      myservo3.write(0);
      myservo4.write(0);
      myservo5.write(0);
    }
  }
}
```

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
}  
  if ( val == 'rock'){  
    myservo1.write(0);  
    myservo2.write(180);  
    myservo3.write(180);  
    myservo4.write(0);  
    myservo5.write(0);  
  }  
  if ( val == 'like'){  
    myservo1.write(180);  
    myservo2.write(180);  
    myservo3.write(180);  
    myservo4.write(180);  
    myservo5.write(0);  
  }  
  if ( val == 'peace'){  
    myservo1.write(180);  
    myservo2.write(180);  
    myservo3.write(0);  
    myservo4.write(0);  
    myservo5.write(180);  
  }  
}}
```