

Научно-исследовательская работа по теме
«Рука-манипулятор для учащихся с проблемами
опорно-двигательного аппарата».

Протезирование — замена утраченных или необратимо повреждённых частей тела искусственными заменителями — протезами.

История появления протезов.

Первое упоминание о протезе встречается в Ригведе, которая сообщает, что воительница в бою потеряла ногу, и для нее изготовили железную ногу. Древние египтяне были знакомы с протезированием, о чем свидетельствует мумия Нового Царства с деревянным пальцем. Долгое время протезирование развивалось слабо. Знаменитые пиратские крюки и деревянные ноги — ранние формы протезов. После развития механики, ближе к современности, стали появляться более совершенные типы протезов, хорошо имитирующие потерянную часть тела или даже способные двигаться за счёт встроенных механизмов.

Изначально создавались лишь протезы нижних конечностей. Появившись в древности, они прошли длинный путь от простой деревяшки до лёгких металлических протезов, правдоподобно имитирующих реальную ногу. Протезы рук появились гораздо позже, ближе к XIX веку. Искусственные руки в XIX в. разделялись на «рабочие руки» и «руки косметические», или предметы роскоши. Для каменщика или чернорабочего ограничивались наложением на предплечье или плечо бандажа из кожаной гильзы с арматурой, к которой прикреплялся соответствующий профессии рабочего инструмент — клещи, кольцо, крючок и т. п. Косметические искусственные руки, смотря по занятиям, образу жизни, степени образования и другим условиям, бывали более или менее сложны. Искусственная рука могла также иметь форму естественной. Если ампутация не достигла локтевого сустава, то при помощи искусственной руки возможно было возратить функцию верхней конечности; но если ампутировано верхнее плечо, то работа рукой была возможна лишь через посредство объемистых, весьма сложных и требующих большого усилия аппаратов. Помимо последних, искусственные верхние конечности состояли из двух кожаных или металлических гильз для верхнего плеча и предплечья, которые над локтевым суставом были подвижно соединены в шарнирах посредством металлических шин. Кисть

была сделана из легкого дерева и неподвижно прикреплена к предплечью или же подвижна. В суставах каждого пальца находились пружины; от концов пальцев шли кишечные струны, которые соединялись позади кистевого сустава и продолжались в виде двух более крепких шнурков, причём один, пройдя по валикам через локтевой сустав, прикреплялся на верхнем плече к пружине, другой же, также двигаясь на блоке, свободно оканчивался ушком. Для заказов искусственных рук достаточно было указать меры длины и объёма культи, а равно и здоровой руки, и объяснить технику цели, которым они должны служить.

История совершенствования протезов.

В XX веке начали появляться протезы, управляемые биоэлектрическими сигналами организма. В СССР работы по созданию протезов верхних конечностей, управляемых биоэлектрическими сигналами от культивированных мышц, были начаты в 1956 году. Промышленный выпуск протезов предплечья с биоэлектрическим управлением в СССР был начат в 1961 году.

Основным и наиболее полезным видом протезов руки является тяговый протез. Тяговый (механический) протез управляется с помощью тяг и полностью контролируется усилиями самого человека. Существует несколько вариантов тягового управления — от движения плеча, локтя, лучезапястного сустава, проксимальной фаланги пальца. Сильная сторона такого механизма — возможность контролировать усилие. При выполнении хвата пользователь сам определяет силу сжатия, скорость и может почувствовать сопротивление, когда кисть/крюк упирается в предмет и не может продолжать сдавливание. Механизм прост в управлении, с ним можно плавать, и он легок в обслуживании. Слабая сторона — это ограниченность силы хвата возможностями самого человека. При длительной практике ношения, пользователи демонстрируют возможности манипуляции различными предметами — могут писать, пользоваться ножом и вилкой, играть в теннис, зажигать спички, переносить груз и т.п.

Биоэлектрические (бионические, миоэлектрические протезы) — это протезы с внешним источником энергии (по классификации Минтруда РФ). Управление осуществляется за счет сигналов, возникающих при сокращении мышц.

В культеприемную гильзу встроены миодатчики, улавливающие изменение электрического потенциала. Эта информация передается на микропроцессор кисти, и в результате протез выполняет определенный жест или хват. Бионические протезы бывают обычными и высокофункциональными. Высокофункциональными считаются протезы, умеющие делать различные хваты, тогда как обычные бионические протезы делают одно основное движение — хват в щепоть. Биоэлектрические протезы на сегодня являются самым высокотехническим средством протезирования верхних конечностей из доступных на рынке. Не прекращаются исследования по управлению протезом с помощью нейронной активности, проводятся эксперименты с вживлением электродов в нервные окончания.

Проблемы в области протезирования.

Несмотря на значительный прогресс в области протезирования, совершённый учёными и медиками за последние пару веков, остаётся достаточно много проблем, усложняющих производство и эксплуатацию протезов. Главной проблемой протезов является очень высокая технологичность и сложность подобного оборудования. Для создания протеза необходимы обширная материально-технологическая база и целая команда специалистов из различных областей: учёных, врачей, инженеров, конструкторов, программистов. Без слаженной работы нескольких десятков людей создание подобных вещей невозможно. Также, для создания подобных изделий нужны прочные, но при этом лёгких и износостойких материалов, например алюминия и композитов. Из этой проблемы вытекает следующая – большая стоимость готового продукта. Учитывая, что производство протезов не поставлено на поток, а технологии и материалы, необходимые для их сборки стоят достаточно дорого, сами протезы в итоге получаются ощутимо дорогими. Цена качественного протеза начинается от 1.4 миллиона рублей, что является достаточно крупной суммой. Также современные протезы, несмотря на всю их технологичность и сложность, сложны в повседневном ношении и причиняют носителю ощутимые неудобства. Помимо этого, они могут выполнять лишь небольшой набор жестов. Это связано с тем, что данные протезы используют всего пару (реже – три) датчика, обрабатывающих электрические сигналы, исходящие от нервов в руке. Установить же больше трёх датчиков изменения электрического потенциала, сохранив лёгкость и мобильность протеза сложно из-за особенностей их работы и слишком больших габаритов для такого устройства. На данный момент протезы способны воспринимать сигналы лишь от двух крупнейших групп сгибательно-разгибательных мышц. Для распознавания более слабых сигналов от отдельных мышц датчики должны быть меньше, чем те, что есть сейчас.

«Умная рука» и дальнейшие перспективы протезирования.

Несмотря на то, что в данный момент протезы, при всей своей сложности, не являются совершенными в полной мере. Однако, прогресс не стоит на месте. Постоянно изобретаются новые материалы и технологии, которые лучше, меньше и дешевле старых, а уже используемые в отдельных отраслях технологии становятся достоянием общественности и получают всё более широкое распространение, как например случилось с композитами. Ещё десять – пятнадцать лет назад они использовались лишь в аэрокосмической и военной промышленности, а сегодня изделия из композитных полимеров завоёвывают гражданские рынки, а счёт областей их применения идёт на сотни. Ожидаемо, композиты добрались и до медицины. Являясь более лёгкими, прочными и долговечными, нежели металлы, они нашли своё применение и в этой области. В частности, они уже используются для совершенствования и облегчения существующих протезов. Не стоят на месте и информационные технологии. Сейчас ведутся исследования в области нейросетей и нейротехнологий. Когда подобные технологии дойдут до медицины, появится возможность создавать протезы с возможностью управления непосредственно нервными сигналами головного мозга, тогда как современные протезы требуют механических усилий для работы.

Разработка модели руки-манипулятора на базе конструкторского решения Lego Mindstorms EV3.

Идея возникновения проекта.

На базе нашей гимназии с 2017/18 учебного года был введен курс дополнительного образования «Робототехника». Так как наша школа имеет гуманитарный уклон, руководителем объединения было предложено в ходе работы создать каждой группе участников социально-значимый проект по робототехнике. Однажды я наткнулся на статью Министерства образования и науки, в которой рассматривался вопрос об инклюзивном образовании и количестве учащихся с ОВЗ в российских школах (приложение 1). Выбор темы проекта упал на создание какого-либо механизма, способного помочь или упростить процесс образования учащихся с ОВЗ. Изучив основные принципы работы и возможности наборов Lego Mindstorms, мной было принято решение создать прототип руки-манипулятора.

Этапы сборки модели.

Проектирование. Сначала мы решили были продумать всю конструкцию, не вдаваясь в подробности строения каждого из элементов. Изначально мы придумали общую схему (приложение 2). Её суть заключалась в том, что мы, имея сразу пару компьютеров – контроллеров можем создать манипулятор, работающий удалённо, а не закреплённый непосредственно на руке. Соответственно наша схема включала в себя два основных блока, соединённых шлейфом: приёмник и исполнитель.

При дальнейшей проработке схемы было выделено четыре основных сегмента конструкции. Первый из них – перчатка контроллер – крепится непосредственно на руке. К ней прикреплены датчики, собирающие информацию о положении руки в пространстве. На этой перчатке также закреплена вторая часть – контроллер-приёмник. Он отвечает за сбор информации с датчиков и её обработку. Затем, полученная информация по шлейфу передаётся на контроллер –исполнитель, который обрабатывает полученную информацию, преобразовывая её в команды для четвёртой, исполнительной части. Последняя представляет собой имитацию человеческой конечности, включая кости и суставы. Данная конструкция оснащена шестью моторами, которые приводят её в движение. Тем самым обеспечивая исполнение поступающих команд. Однако дальнейшая проработка деталей конструкции и моделирование поведения готового устройства показали, что первичная схема не удовлетворяла бы условиям

подвижности. Общая схема была переделана. Затем, мы начали проектирование и сборку самой конструкции. Но и здесь не обошлось без ошибок. Первым шагом стало создание «кисти». Наша кисть состоит из трёх пальцев. Но изначальная схема сборки отличалась большим весом и сильным разносом тяжёлых пальцевых моторов. Затем мы начали собирать предплечье. И в этом мы совершили ошибку. Собирая его, мы не учитывали весовые и габаритные требования, без соблюдения которых данная часть руки получилась бы слишком тяжёлой. Позже мы выяснили, что нужно было начинать работу с основания. Основание в манипуляторе является самой тяжёлой и самой жёсткой частью конструкции – то, что нужно для стабильности. В основании также закреплены несколько грузов, дополнительно утяжеляющих конструкцию. Основное сечение всех наших частей – квадратное. Это обеспечивает дополнительную жёсткость конструкции. Как показал опыт, узкое сечение хоть и прочное, но недостаточно жёсткое, чтобы без деформации выдерживать вес кисти и груза в ней. Также наша рука имеет конструкцию, обеспечивающую наиболее полное соответствие моторным функциям руки человека. В частности, перед нами стояла задача наиболее полно и естественно смоделировать поведения нашего манипулятора, ориентируясь на руку человека. Наш манипулятор способен вращаться вокруг оси, заменяя некоторые мышцы туловища, а так же вытягиваться в длину и в высоту, имитируя работу мышц плечевого и локтевого суставов. Отдельным элементом является кисть. Она состоит из трёх пальцев, имеющих независимый привод. Независимое управление каждым из трёх пальцев позволяет учитывать особенности воспроизведения жестов различными людьми. Эти пальцы также оснащены резиновыми насадками, для лучшего сцепления с удерживаемым предметом, что позволяет удерживать предметы, например из стекла, не боясь выронить их. Данная рука имеет на себе контроллер, отвечающий за правильное распределение команд между моторами. Также, данный контроллер выполняет ещё и функцию противовеса, столь необходимого при весе нашей конструкции. Отдельно также стоит рассмотреть перчатку контроллер. Основное её удобство - способность одеваться на руку – выгодно отличает её от манипуляторов, оснащённых джойстиком. Данная особенность делает управление более естественным и интуитивным, становится проще понимать, что рука сделает при определённом действии вашей руки. Перчатка фиксируется на руке в двух местах. Передний обод имеет жёсткую конструкцию, а вот задний регулируется под толщину руки пользователя. Также именно перчатка несёт на себе датчики, собирающие информацию. Работа трёх из них (отвечающих за сжатие пальцев) основана на нажатии,

оставшихся двух (контролирующих перемещение) – на гироскопах. Фотоматериалы с промежуточными результатами работы представлены в приложении 3.

Программирование

После сборки конструкции начался второй этап создания протеза – его программирование. Как было написано выше, протезы нуждаются в серьёзном программном обеспечении, для нормальной работы. При этом, выбранная нами платформа имеет и свою среду программирования, в которой мы и работали. Наша конструкция имеет два логических элемента, к которым нужен совершенно разный подход при программировании, ввиду большой разницы в применении. В самих элементах мы также выделили отдельные группы действий. Рассмотрим их поближе:

Первый логический элемент представлен датчиками. Как было написано выше, в нашей конструкции использовано два типа датчиков, имеющих разные принципы работы и задачи. Первый тип – датчики касания. В нашей конструкции их три. Они отвечают за сгибание пальцев. На каждый из пальцев приходится соответственно по одному датчику. Данное решение обеспечивает гибкость в управлении манипулятором и возможность выполнять различные жесты, при которых не нужно задействовать все пальцы разом. Принцип работы этих датчиков прост. По нажатию активируется сенсор, посылающий определённый сигнал на контроллер. По схожему принципу устроена, например, клавиатура. Вторым типом датчиков, установленных на нашей конструкции, являются датчики поворота. Пара подобных датчиков устанавливается спереди контроллера на перчатке. Они представляют собой два одноосевых гироскопа, установленных в разных плоскостях, что обеспечивает возможность сбора о поворотах руки сразу в двух осях – вертикальной и горизонтальной.

Второй элемент – моторы. Они сходны по строению, однако в нашем проекте разные моторы выполняют разные функции. Рассмотрим их подробнее. Мотор в основании. Отвечает за поворот всей конструкции вокруг оси. Тем самым достигается замещение сгибающей функции локтевого сустава в горизонтальной плоскости. Данный мотор неподвижно закреплён на нижней части манипулятора, а с основанием соединён системой шестерёнок. Моторы в суставах. В нашей руке присутствует два сустава – плечевой и локтевой. В отличие от руки человека они работают лишь в вертикальной плоскости, а работа в горизонтальной выполняется другим мотором. Вместе, они обеспечивают большую подвижность руки в вертикальной полуоси, что

позволяет изменять длину руки и угол наклона кисти относительно горизонтальной поверхности. Сами суставы особо проработаны и переделаны несколько раз для достижения идеального результата. Локтевой сустав симитирован наиболее точно, тогда как плечевой сустав, а точнее механизм, его заменяющий, смещён вниз, а само «плечо» имеет фиксированный угол, примерно равный 45 градусам. Данное решение обеспечивает большее удлинение руки и лучшую балансировку конструкции. Моторы пальцев. Составляют «кисть», которая отвечает за захват и удерживание предметов. В ней были использованы наиболее мощные моторы, чтобы обеспечивать надёжный хват. Два из трёх моторов расположены рядом друг с другом. Они приводят в движение указательный и средний пальцы кисти. Отдельно от них расположен третий мотор, отвечающий за сгибание большого пальца. Данное расположение моторов обеспечивает надёжный захват предмета.

Тестирование модели.

После осуществления сборки модели мы решили провести ряд тестовых испытаний. Первые испытания проводились на базе МБОУ Гимназия №12. Испытания прошли успешно и получили положительную оценку со стороны администрации школы (приложение 4). Испытания проводили в области общей работы руки, то есть проверялась работа каждого мотора, каждого датчика, быстроту работы компьютерных блоков, засекали время одной операции. Второй этап тестирования модели был нацелен на установление физических недостатков. Для этого наш проект был направлен на рассмотрение в НИЯУ МИФИ на кафедру «Электроники и систем программирования». Мы представили видео- и фотоматериалы проекта, в результате чего получили также положительную рецензию на проект, получив при этом справедливые замечания по поводу конструкции нашего проекта (приложение 5). Одной из проблем нашего проекта стала хрупкость конструкции и, в результате этого, его малая грузоподъёмность. Третий этап тестирования состоял в демонстрации нашей руки экспертам в области хирургии. Мы обратились для тестирования модели в Шахтерский центр охраны здоровья шахтеров. Демонстрация произвела положительное впечатление на медицинскую комиссию и мы получили одобрение на дальнейшую работу проекта (приложение 6).

Выявление недостатков и доработка проекта.

Одним из недостатков проекта является хрупкость его конструкции, как было установлено независимыми экспертами. Это объясняется тем, что

конструкторское решение Lego не рассчитано на работу в столь сложных конструкторских проектах. Также, нами было установлено в ходе повторных испытаний, что из-за незначительных ошибок в программе руки происходит потеря времени при повороте и срабатывании пальцев. Было принято решение усовершенствовать модель до максимально возможного уровня. На данный момент наша модель находится на стадии устранения недостатков. Фотоматериалы проекта на данной на стадии представлены в приложении 7.