

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОРЕВНОВАНИЕ «ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА»

1658

регистрационный номер

Робототехника и комплексная автоматизация

название факультета

РК6 Системы автоматизированного проектирования

название кафедры

Разработка прототипа роботизированной кисти руки

название работы

Автор:

Ершов Илья Олегович

фамилия, имя, отчество

МАОУ лицей №14 им. А.М. Кузнецова

наименование учебного заведения, класс

Научный руководитель:

Стезкин Кирилл Анатольевич

фамилия, имя, отчество

МАОУ лицей №14 им. А.М. Кузнецова

место работы

к.т.н., учитель информатики

звание, должность



подпись научного руководителя

Москва - 2022

Аннотация

Данная научная работа включает в себя проектирование концепции роборуки, которая с помощью человеческого мозга или нервного импульса (то есть нейроинтерфейса) будет способна повторять кинематику человеческой руки. Будет выявлена рациональность использования данного проекта в промышленных масштабах, реализуемость каждого шага при работе над созданием итогового продукта. Оценка аналогов для подзадач прототипа, их сравнение на пути реализации проекта, выявление наиболее подходящих.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация.....	2
1. Введение.....	4
1.1 Эпилог	4
1.2 Цель и задачи работы.....	6
2. Основное содержание работы.....	7
2.1 Проектирование.....	7
2.2 Печать и тестирование образцов	8
2.3 Возвратные механизмы	14
2.4 Arduino. Концепция ПО. Пайка компонентов для блока управления.....	16
2.5 Подготовка к подключению средства управления	24
3. Заключение	25
Приложение А. Код для работы одного моторчика.....	26
Приложение Б. Код для работы пяти моторчиков «на износ».....	26

1. Введение

1.1 Эпилог

В наше время очень сильно развиваются химическая, ядерная и другие не менее опасные отрасли промышленности и науки. Довольно большое людей получают производственные травмы в различных местах: будь это химическая лаборатория с едкими химикатами или ядерный реактор итог один – химические ожоги, облучение, вдыхание опасных паров или газов и так далее. Одним из способов решения данной проблемы является разработка механизмов, способных выполнять сложные задачи в опасных для человека средах и условиях самостоятельно, либо под непосредственно дистанционным управлением человека. Этими механизмами называются роботы - автоматические устройства, предназначенные для осуществления различного рода механических операций, которые действуют по заранее заложенной программе или под управлением человека.

Видов автоматических устройств существует большое количество, но я остановился на разработке роботизированной кисти руки, которая является наиболее близким для человека как по управлению, так и по возможностям манипулятором. Кроме того, в данный тип роботов на текущий момент, благодаря далеко шагнувшим вперед технологиям, не трудно встраивается система нейроинтерфейса – система, созданная для обмена информацией между мозгом и электронным устройством, кроме которой устройство можно добавить дистанционное управление с планшета или телефона.

Исследователи классифицировали роботизированную руку как отдельный подвид не просто так, доказав ее промышленное применение, медицинское применение как отдельную «технология». Она была впервые представлена в конце 1930-х годов Уильямом Поллардом и Гарольдом А. Роузлендом, где они разработали распылитель, который имел около пяти степеней свободы и электрическую систему управления. «Поллард» назывался «аппарат управления первой позицией». Уильям Поллард никогда не проектировал и не создавал свою руку, но в будущем она стала основой для других изобретателей.

Другие роботизированные манипуляторы были изобретены в 1961 году компанией Unimate и эволюционировали до руки PUMA. В 1963 году был разработан рычаг Ранчо, а также многие другие в будущем. Несмотря на то, что Джозеф Энгельбергер продавал Unimate, Джордж Девол изобрел роботизированную руку. Он был сосредоточен на использовании Unimate для задач, которые вредны для людей. В 1959 году прототип Unimate весом 2700 фунтов был установлен на заводе по литью под давлением General Motors в Трентоне, штат Нью-Джерси. Серия Unimate 1000 стала самым первым роботизированным манипулятором для литья под давлением. За очень короткий

промежуток времени было произведено по меньшей мере 450 роботизированных манипуляторов, которые использовались. Это по - прежнему остается одним из самых значительных вкладов за последние сто лет. Шли годы, и технологии, казалось, развивались, помогая создавать более совершенные роботизированные руки. Не только компании изобрели различные роботизированные манипуляторы, но и колледжи тоже.

В 1969 году Виктор Шейнман из Стэнфордского университета изобрел руку Стэнфорда, в которой были электронные рычаги, способные перемещаться по шести осям. Марвин Мински из Массачусетского технологического института построил роботизированную руку для управления военно-морских исследований, возможно, для подводных исследований. Эта рука имела двенадцать суставов с одной степенью свободы в этой электрогидравлической руке высокой ловкости. Роботы изначально были созданы для выполнения ряда задач, которые люди находили скучными, вредными и утомительными.

Без механической руки производство автомобилей было бы чрезвычайно затруднено. Эта проблема была впервые решена в 1962 году, когда на заводе “Дженерал Моторс” был использован первый механический рычаг. Используя эту механическую руку, также известную как промышленный робот, инженеры смогли решить сложные сварочные задачи. Кроме того, удаление отливок под давлением стало еще одним важным шагом в улучшении возможностей механической руки. С помощью такой технологии инженеры смогли легко удалить ненужный металл из-под полостей пресс-формы. В результате этих применений сварка стала становиться все более популярной для механических рычагов.

В 1979 году компания Nachi усовершенствовала первого робота с приводом от двигателя для выполнения точечной сварки. Точечная сварка-очень важный процесс, используемый при создании автомобилей для соединения отдельных поверхностей вместе. Довольно скоро механическое оружие стало передаваться дополнительным автомобильным компаниям.

По мере постоянного совершенствования Национальный университет Сингапура (NUS) решил добиться еще больших успехов, изобретя механическую руку, которая может поднимать до 80 раз больше своего первоначального веса. Эта рука не только увеличила свою подъемную силу, но и могла удлиниться в пять раз по сравнению с первоначальной длиной. Эти достижения были впервые представлены в 2012 году, и автомобильные компании могут извлечь большую пользу из этих новых научных знаний.

Рука, которую решил проектировать я, конечно, не обладает настолько большой грузоподъемностью, но её будет вполне достаточно для переноса и переливания колб в лаборатории или нажатий на кнопку. Зато, по сравнению с промышленными роборуками, заточенными под конкретную задачу, мой проект будет обладать сравнимым с ними функционалом.

Кроме того, применимость экологически чистого переработанного пластика в сочетании с относительно недолго разлагающейся резиной, на разложение которой требуется в районе 40 лет не наносит сильного вреда экологии, в следствии чего делает производство подобных технологий экологичными для окружающей среды и вторично перерабатываемыми для повторного использования.

Активное развитие аддитивных технологий, то есть технологий 3Д печати, и их непосредственное внедрение в сферу робототехники существенно удешевляет производство в силу использования более дешевых, но подходящих по свойствам и прочности, материалов в качестве основного: например, использование ABS пластика. А также автоматизации производства путем создания деталей с помощью 3D-принтера, которые я использовал. Также по сравнению с традиционными методами изготовления деталей, данный метод позволяет существенно ускорять процесс производства в больших объёмах.

Итак, разобравшись с основой и причиной выбора проекта перейдем к целям и задачам.

1.2 Цель и задачи работы

Основной целью работы является разработка прототипа роботизированной кисти руки с использованием нейроинтерфейса.

Задачи

1. Анализ аналогов
2. Проектирование
 - a. Освоение среды проектирования Autodesk Autocad
 - b. Моделирование макета руки для дальнейшей печати
 - c. Печать макета на 3D принтере
2. Тестирование механического прототипа
 - a. Сборка кисти руки, пальцев
 - b. Выявление недочетов и их исправление
3. Интеграция системы управления
 - a. Подключение макета кисти руки к нейроинтерфейсу
 - b. Написание программного обеспечения
4. Финальное тестирование

2. Основное содержание работы

2.1 Проектирование

Рассматривая различные варианты программ 3D моделирования, мой выбор остановился на двух из них: Autodesk AutoCAD и Fusion. Но после изучения функционала я остановился на AutoCAD (рисунок 1.а).

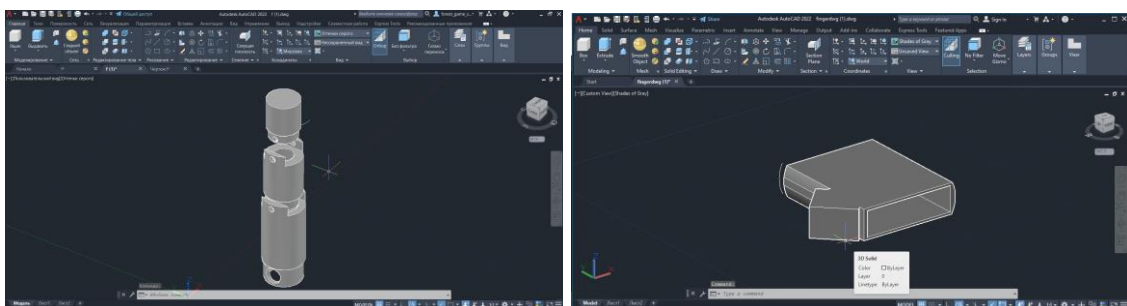


а – «AutoCAD», б – «Fusion», в – «Inventor», г – «Blender», д – «Freecad»

Рисунок 1 — Варианты САПР для 3D моделирования

Данные программы были рассмотрены из-за их популярности. Blender (рисунок 1.г) и Freecad (рисунок 1.д) не подошли из-за недостатка функциональности. Из продукции Autodesk Fusion (рисунок 1.б) обладал излишним функционалом, заточенным под командную работу, а Inventor (рисунок 1.в) обладал сложным интерфейсом, заточенным под тестирование скорее под тестирование кинематики модели, чем под её проектирование.

Далее после изучения AutoCAD, обучения в создании примитивов и изучения набора функций данного САПР, я приступил к проектированию первых прототипов моделей пальца (рисунок 2.а) и кисти (рисунок 2.б).



(а)

(б)

а – палец, б – ладонь

Рисунок 2 — Первые прототипы в AutoCAD

2.2 Печать и тестирование образцов

После проектирования образцы напечатаны на 3D принтере (рисунок 3) в Лицее № 14 из пластика, выбор которого описан ниже.



Рисунок 3 — Печать первых образцов на 3D принтере

Следующим вопросом был выбор типа пластика для печати компонентов проекта: «ABS или PLA?».

Акрилонитрилбутадиенстирол, или просто АБС. «ударопрочная техническая термопластическая смола на основе сополимера (рисунок 4) акрилонитрила с бутадиеном и стиролом (название пластика образовано из начальных букв наименований мономеров)».

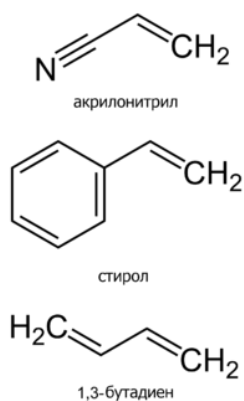


Рисунок 4 — Иллюстрация структуры
Акрилонитрилбутадиенстирола

Свойства:

1. Непрозрачный (Окрашивается в различные цвета).
2. Повышенная ударопрочность и эластичность
3. Нетоксичность
4. Долговечность
5. Стойкость к щелочам и моющим средствам
6. Влагостойкость
7. Маслостойкость
8. Кислотостойкость
9. Теплостойкость 103 °С (до 113 °С у модифицированных марок)
10. Широкий диапазон эксплуатационных температур (от –40 °С до +90 °С)

ABS пластик рекомендуется использовать для изготовления: крупных деталей автомобилей (приборных щитков, элементов ручного управления, радиаторной решётки), корпусов крупной бытовой техники, радио- и телеаппаратуры, деталей электроосветительных и электронных приборов, пылесосов, кофеварок, пультов управления, телефонов, факсовых аппаратов, компьютеров, мониторов, принтеров, калькуляторов, другой бытовой и оргтехники, спортивного инвентаря, деталей оружия, мебели, изделий сантехники, деталей медицинского оборудования. То есть для вещей, требующих повышенную прочность.

Достоинства:

1. Относительная дешевизна
2. Растворимость в ацетоне (можно сгладить «ступеньки» печати)
3. Легко окрашивается
4. Возможны «доводочные» операции (шлифование, окраска)
5. Возможна работа в большом диапазоне температур
6. Выдерживает значительные ударные нагрузки

Недостатки:

1. Невозможно изготовить цветным.

Необходимые температуры:

Рабочая температура — 210-270 градусов.

Рабочий стол — примерно 110 градусов.

Полилактид (ПЛА) — биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота (рисунок 5).

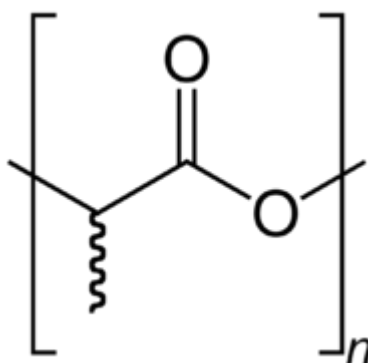


Рисунок 5 — иллюстрация структуры полилактида где, зигзагообразной линией показан участок с CH_3

Применяется для: производства экологически чистой биоразлагаемой упаковки, одноразовой посуды, средств личной гигиены, для производства хирургических нитей и штифтов, а также в системах доставки лекарств.

Достоинства:

1. Имеют низкий коэффициент трения (что делает его практически незаменимым в производстве подшипников скольжения).
2. Нетоксичен
3. Низкая температура стеклования
4. Отсутствует необходимость в достаточно гладкой поверхности для рабочего стола
5. Не требуется нагрев стола
6. Экологически чистое производство из возобновляемых источников

Недостатки:

1. Дороже АБС
 2. Свойство разлагаемости
 3. Не поддается ацетону (невозможность сглаживания контуров)
- Необходимые температуры:

Рабочая температура — порядка 185 градусов.

Исходя из характеристик и сфер применения, приходим к выводу, что PLA пластик подходит нам для выполнения возложенных задач, обладая достаточным уровнем прочности, пониженной токсичностью, большей экологичностью и меньшим коэффициентом трения в сравнении с аналогом.

Первые прототипы получились неудачными.

После сборки пальца и соединения с помощью болтов м3 (рисунок 6) конструкция не вращалась из-за неправильного расчета мешающих боковых «ушек» и неправильного размера связующих отверстий для болтов. Ладонь имела неправильные размеры ширины и была примерной для дальнейшего перепроектирования. Но несмотря на полученные результаты на данном этапе были достигнуты необходимые результаты для дальнейшей работы.

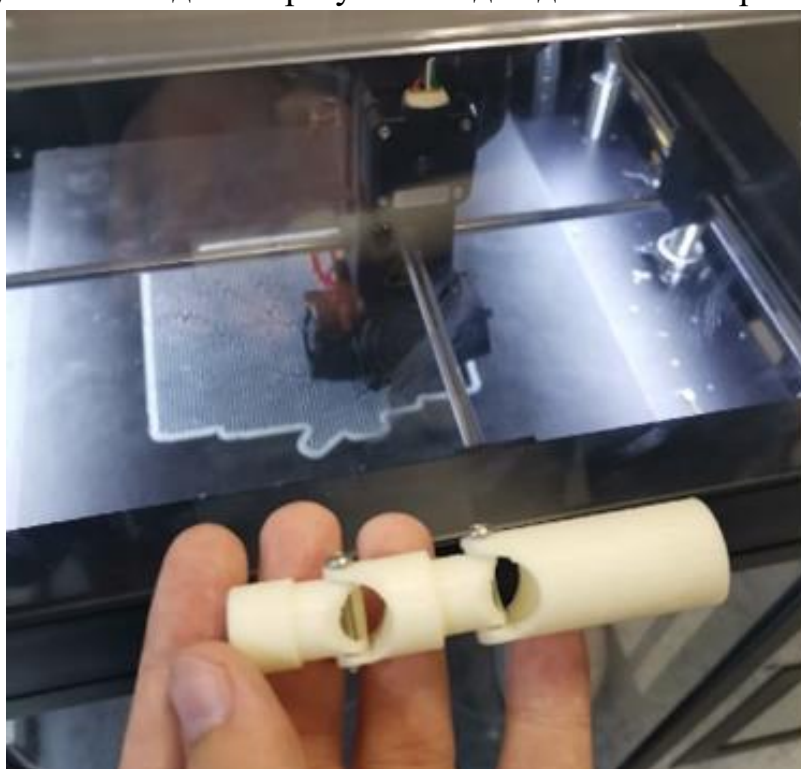


Рисунок 6 — Первый собранный прототип пальца

Далее я производил тестирование и совершенствование полученных образцов. Исправлены недочеты в конструкции пальцев и ладони. Были добавлены срезы на «ушках» большей по порядку фаланги и скосы в основании меньших, допроектированы и усовершенствованы подпоры для блокировки вращения в неправильные положения на пальцах.

Итоговые прототипы получились достаточно функциональными.

Все вращалось правильно, и в собранном виде выглядело так, как показано на рисунке 7.

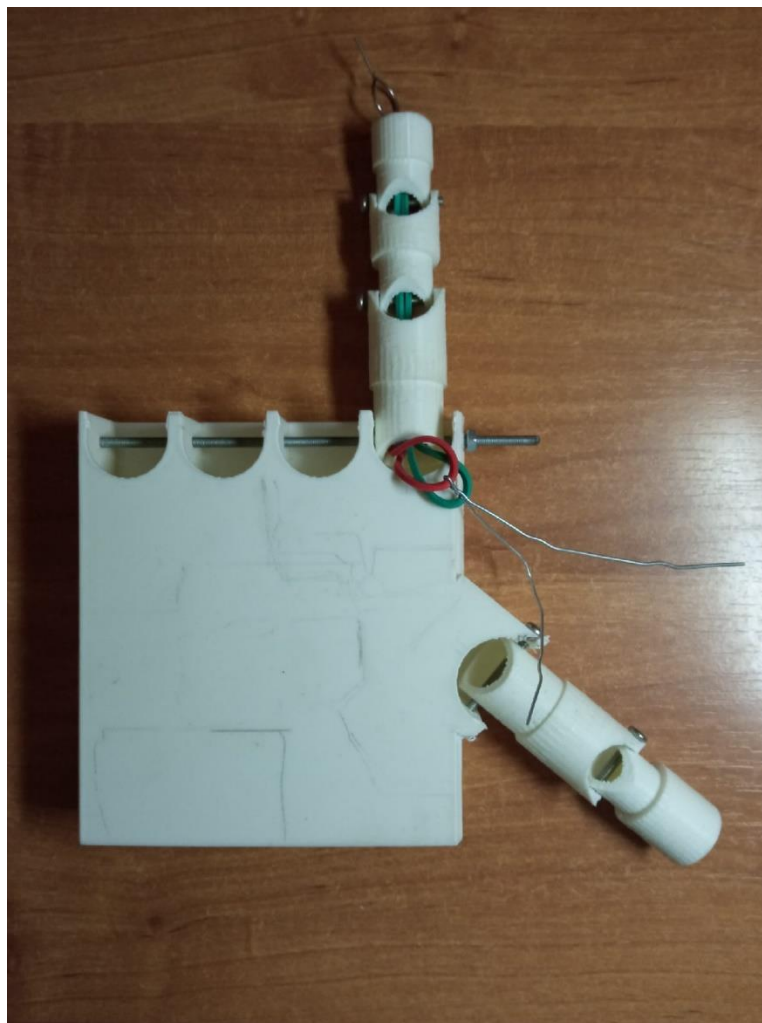


Рисунок 7 — Собранная кисть с размеченными расположениями моторчиков, с протестированным указательным пальцем и установленным на продуманное место большого

Итого для печати данного макета потребовалось пять STL моделей: нижняя фаланга указательного пальца (аналогична для всех пяти пальцев), средняя фаланга четырёх пальцев (кроме большого), верхняя фаланга большого пальца (рисунок 8), верхняя фаланга четырёх оставшихся пальцев, и непосредственно сама ладонь.

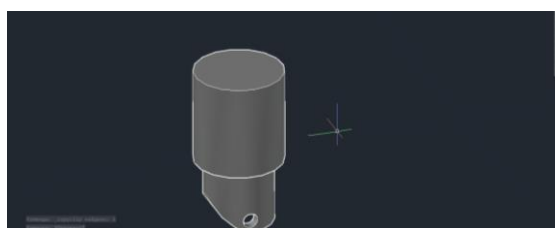


Рисунок 8 — Верхняя фаланга большого пальца

Далее я разметил на показанном прототипе расположения моторчиков, которые я смоделировал с учетом примерных размеров в AutoCAD (рисунок 9).

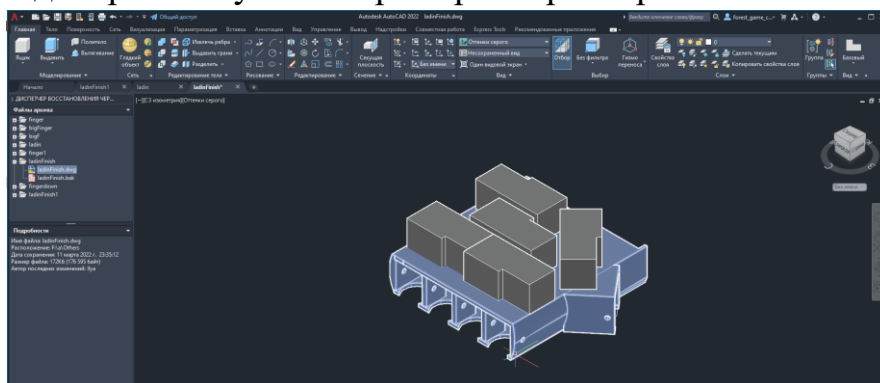


Рисунок 9 — Концепция расположения моторчиков в ладони

После моделирования и отлаживания всех моделей я решил напечатать все одной процедурой печати. В итоге за ровно 24 часа напечаталась следующее, расположенное на рисунке 10.



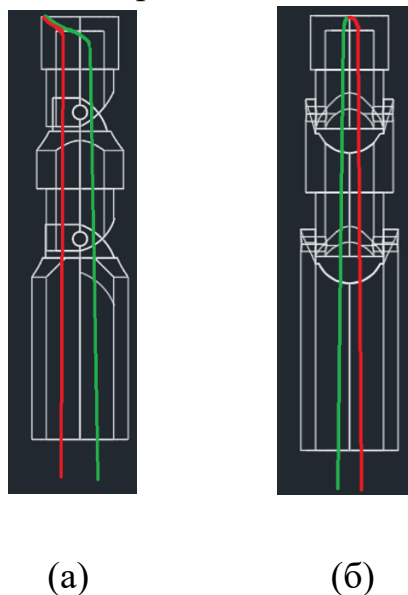
Рисунок 10 — Печать компонентов итогового макета

2.3 Возвратные механизмы

После печати итоговых деталей работы было необходимым продумать и реализовать систему движения пальцев в макете. Среди большого количества вариантов реализации, таких как пружины, шприцевые механизмы, и прочие, я остановился на резинках ввиду их доступности, достаточной прочности из-за возложенных нагрузок, биоразлагаемости порядка сорока лет, что является малым сроком среди прочих конструкций и их дешевизне.

Идея конструкции (рисунок 11) заключается в том, что при скручивании на барабан внутренней резинки, отмеченной зеленым цветом, конструкция должна сгибаться, а при расслаблении внутренней и скручивании внешней, отмеченной красным цветом – разгибаться.

Отверстия под крепление резинок можно произвести во время печати на 3D образцах в САПР, а установить резинки в момент сборки конструкции.



а – вид сбоку, б – вид спереди

Рисунок 11 — Концепция возвратных механизмов пальца

Следующим шагом была разработка механизма управления степенью силы сжатия резинки с помощью моторчиков Micro Servo SG90 (рисунок 12). Для реализации потребовалось пять таких моторчиков. Они обладают достаточной силой для удержания резинок в своих положениях, достаточной мощностью, а также достаточным функционалом в программном плане для платы, которая и будет управлять движениями моторчиков.



Рисунок 12 — Мотор для вращения пальцев

Итоговая идея такова: расположить 5 моторчиков Servo с барабанами в ладонь (рисунок 13) подключить резинки к барабану таким образом, чтобы при вращении моторчика в одну сторону одна из резинок расслаблялась, а вторая напрягалась, и палец сгибался, а при выполнении обратной операции – разгибался.

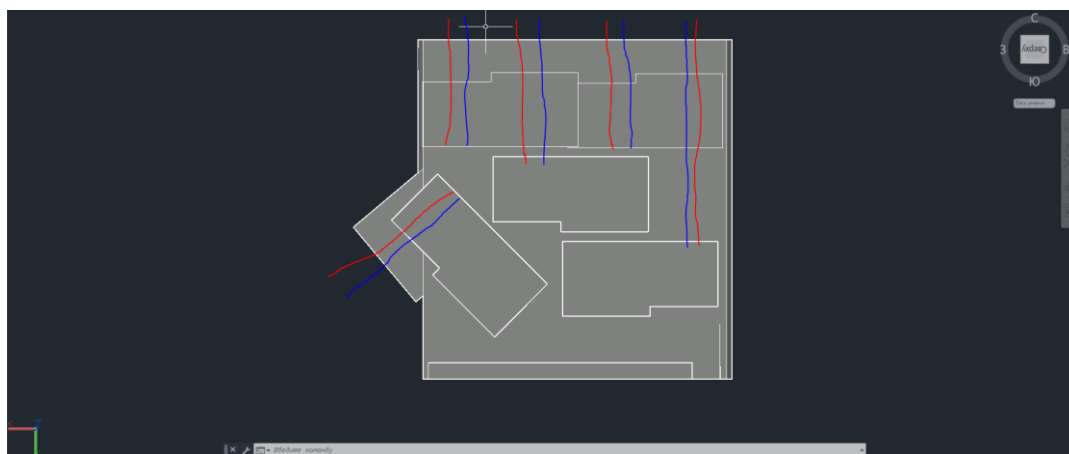


Рисунок 13 — Итоговая концепция возвратного механизма

2.4 Arduino. Концепция ПО. Пайка компонентов для блока управления

Следующим шагом был выбор аппаратной платформы для проекта. Плата должна совмещать в себе компактность, достаточную функциональность для подключения 5 моторчиков и нейроинтерфейса или иного источника управления.

Из плат в наличии Лицея была плата, подходящая под данные параметры: Arduino Uno (рисунок 14).

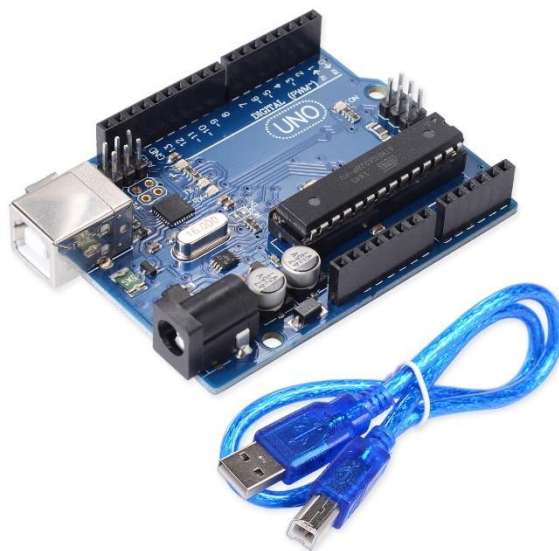


Рисунок 14 — Arduino Uno и кабель соединения с компьютером

Данная плата имеет подключение по USB к компьютеру, предоставляя удобное подключение для программирования платы. А итальянская компания, кроме качественных аппаратных платформ, занимается разработкой собственной среды разработки для своих же плат. Поэтому выбор среды программирования очевиден: Arduino IDE.

После освоения среды, тестирования подключений на одном моторчике (рисунок 15), я перешел к построению полной концепции данной конструкции.

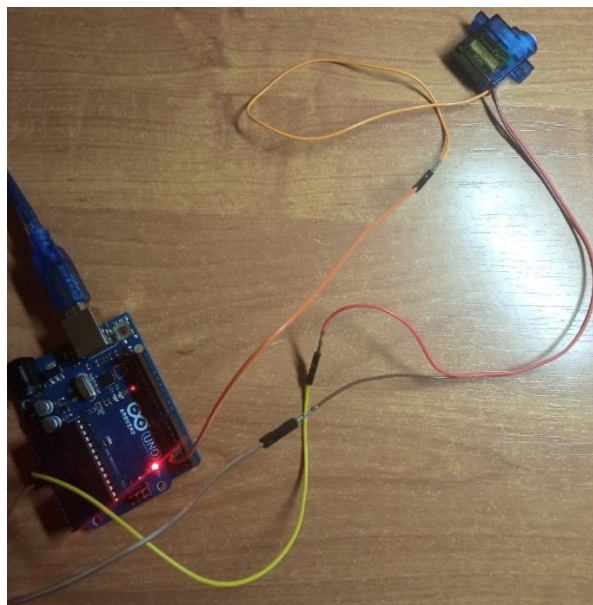


Рисунок 15 — Работа платы на примере с 1 моторчиком

Принцип работы Servo мотора и Arduino платы такой: оранжевый провод на рисунке отвечает за регулировку вращения моторчика, на данном примере он подключен в порт с pin равным трем. Коричневый провод отвечает за «землю» (GND, что расшифровывается как Ground - земля). Последний желто-красный провод отвечает за питание моторчика. Напряжение, необходимое данному элементу - 5 V. Данная конструкция абсолютно рабочая (приложение А).

Далее я продумал подключение пяти моторчиков и реализовал. Принцип аналогичен: так как на плате имеется 13 пинов, что означает возможность подключения до 13 моторчиков.

Подключить 5 моторчиков к плате можно по плану, расположенному на рисунке 16.

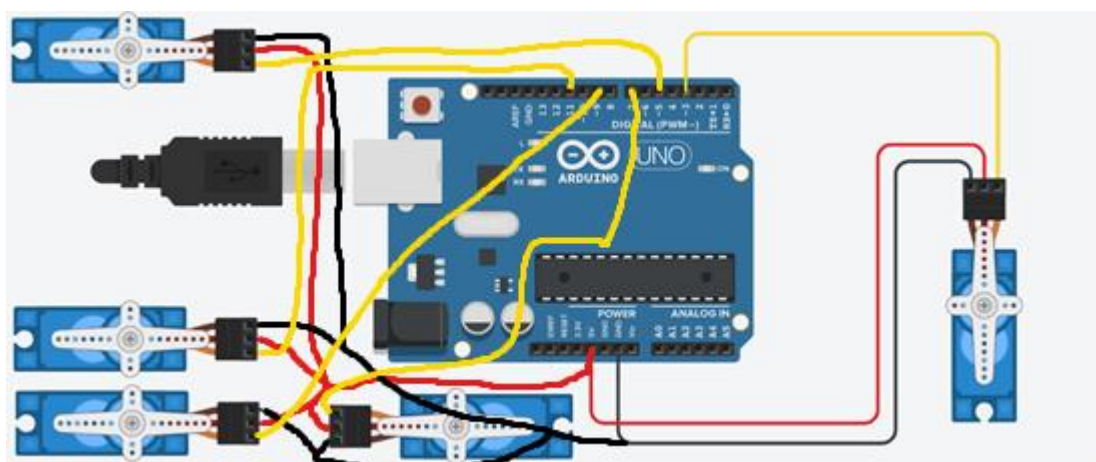


Рисунок 16 — Концепция подключения 5 моторчиков к плате

Проблема подключения в том, что на каждый моторчик требуется отдельное 5 V питание (красный провод на схеме) и отдельная «земля» (черный провод на схеме), что создает проблемы при подключении, так как порт питания и заземления только один. А остальные провода управления (желтый провод на рисунке) можно подключить в отдельные порты, что и делаем. Далее Спаиваем провод, разветвляющий 1 провод питания на 5. Для этого используем паяльник температуры 380 градусов Цельсия (рисунок 17), Flux гель (рисунок 18.б), катушку с припоем (рисунок 18.б).



Рисунок 17 — Паяльная станция в процессе пайки

Flux гель для пайки — это вещество, (реагент) которое используется для подготовки поверхности металла перед нанесением припоя. Флюс позволяет подготовить поверхность металлов перед пайкой: удалить жиры и растворить оксидную плёнку, избавиться от инородных веществ, которые будут затруднять паяние.

Припой — материал, применяемый при пайке для соединения заготовок и имеющий температуру плавления ниже, чем соединяемые металлы. Применяют сплавы на основе олова, свинца, кадмия, меди, никеля, серебра и других металлов. В рамках данного проекта используем катушку с припоем из олова. Необходим для соединения проводов при пайке. Обладая высокой проводимостью и низкой температурой плавления, олово скрепляется с Flux гелем, надежно соединяя провода между собой, выступая некоторой «прослойкой» между ними.



(a)



(б)

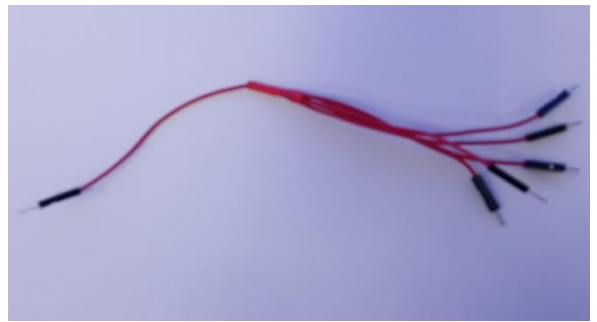
а – Flux гель, б – Катушка олова для пайки

Рисунок 18 — Необходимые расходники для пайки

Далее было необходимо аккуратно выполнить следующие действия: оголить провода с помощью специальных для ножниц (рисунок 18.а за Flux гелем), окунуть каждый провод в Flux гель, разогреть паяльник до достаточной температуры плавления олова, спаять с помощью катушки (рисунок 18.б) и паяльной станции сначала «пучок» из пяти проводов друг с другом, затем припаять шестой провод с другой стороны и оставить остывать. Далее необходимо изолировать провода от коротких замыканий и побочных касаний с внешней средой, что возможно сделать с помощью термоусаживаемых трубок (изоляции). Как итог пайки получаем результат, изображенный на рисунке 19.



(a)



(б)

а – «Земля», б – Питание 5 V

Рисунок 19 — необходимые провода, полученные в результате пайки

Далее, убедившись в работоспособности каждого соединения с помощью мультиметра (рисунок 20) в режиме «прослушивания», я приступил к сборке конструкции по концепции, изложенной выше.

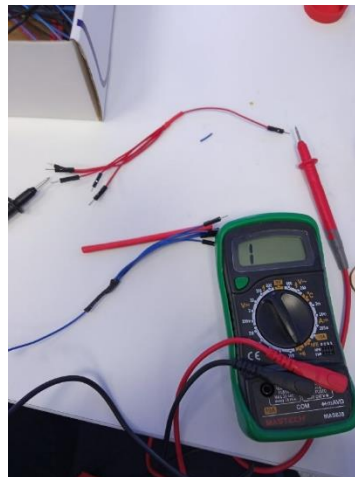


Рисунок 20 — «прослушивание» спаянных проводов мультиметром

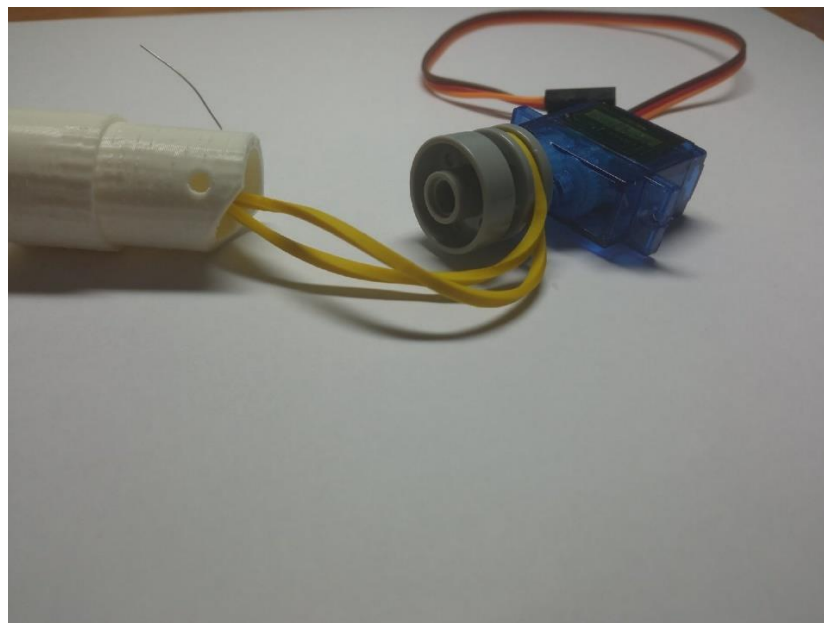


Рисунок 21 — Деталь Lego, надетая на моторчик

Взяв за основу деталь Lego (рисунок 21), которая идеально подходила к моторчику, я приступил к проектированию барабана для моторчика, получив следующую деталь, показанную на рисунке 22. В качестве прокладки между моторчиком и барабаном используется обычная офисная бумага, свернутая в два слоя. Как показала практика, данного решения вполне достаточно для правильного и достаточно крепкого соединения. Хочется добавить, что правильнее всего будет использовать ABS пластик для печати данной детали из-за его свойств, описанных в пункте 2.2.

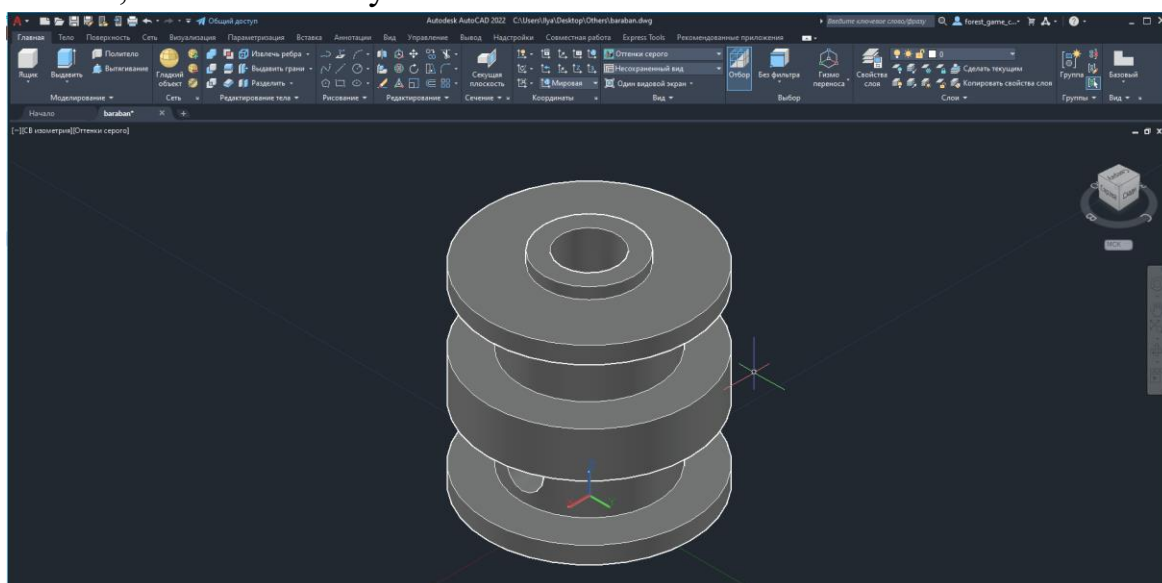


Рисунок 22 — Прототип барабана в AutoCAD

Далее было протестирована модель на условиях, сложнее реальных: выставляем провод питания в USB порт персонального компьютера и смотрим сколько смогут без лагов и сильных перегревов вращаться моторчики (рисунок 23) с незначительной паузой в работе (приложение Б).

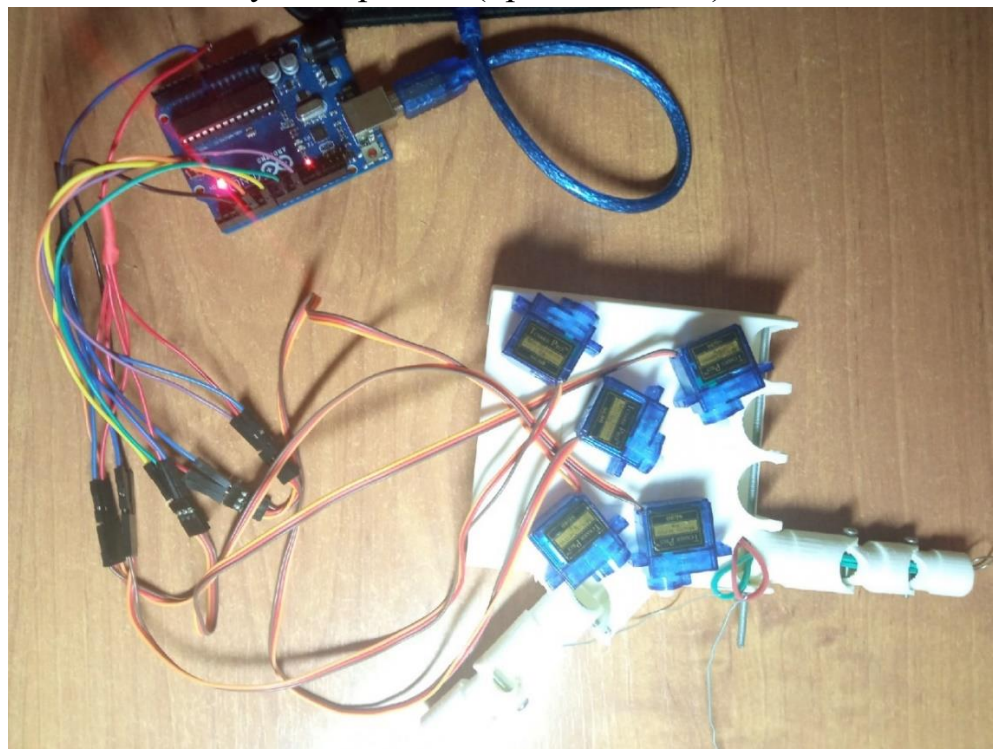


Рисунок 23 — подключение моторчиков для тестирования работоспособности системы

Соответственно 5 Servo моторчиков подключены через один порт управление углом вращения, то есть в 3, 5, 7, 9, 11. Питание подключено в разъем 5 V на плате с помощью ранее спаянного провода, а заземление аналогичным образом в порт GND.

Значительные торможения в работе были замечены после примерно 4-5 минут непрерывной работы моторчиков. По результатам измерения температура спаянных проводов была в норме. Температура на плате аналогично. Единственным перегревающимся элементом были моторчики, которые просто не рассчитаны на столь длительное время работы.

После проведения тестирования конструкции в сборе и получения удовлетворительного результата возник вопрос рациональности использования данных моторчиков. Несмотря на тот факт, что аналогов в наличии не было, было решено провести тесты, показывающее какое натяжение резинки могут выдержать данные моторчики. Получились следующие результаты (рисунок 24):

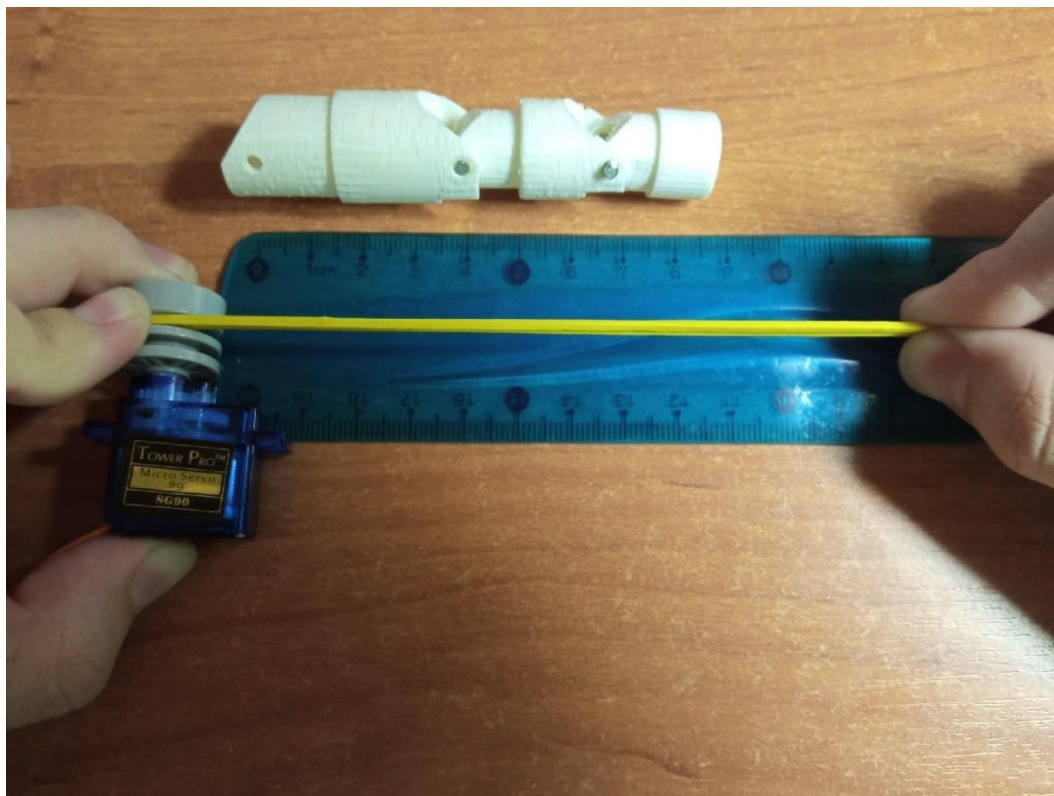


Рисунок 24 — измерение силы натяжения резинки и проверка удержания данной конструкции моторчиком

Предельная длина натянутой резинки, при которой моторчик может ею свободно управлять составляет примерно 12 – 12,5 сантиметров, что больше длины пальца на 25 %. Из чего делаем вывод, что данные моторчики отвечают всем необходимым требованиям.

Вывод подраздела:

Данная реализация концепта до тестового изделия вполне является показала свою работоспособность и доказала свое право на существование.

2.5 Подготовка к подключению средства управления

Следующим шагом в реализации проекта был выбор управляющей системы, которая могла бы связать кинематические действия руки с роботизированной. Из наборов в наличии есть два: Releon (рисунок 25.а) и BiTronics Lab (рисунок 25.б).



(а)



(б)

а – Набор Releon по физиологии, б – цифровая лаборатория в области нейротехнологий BiTronics Lab

Рисунок 25 — Наборы по физиологии с наличием нейроинтерфейса

В ходе исследования обоих наборов, получаем вывод, что набор Releon обладает меньшей функциональностью по сравнению с набором BiTronics Lab, в котором в наличии присутствовал нейроинтерфейс для получения импульсов из головного мозга по средствам электроэнцефалограммы (сокращенно ЭЭГ), а также датчик, получающий движения с группы мышц на руке, как запасной вариант.

К сожалению, после более детального осмотра и тестирования датчиков, достаточно точного среди имеющихся не оказалось. Главная проблема в том, что в наличии были только компоненты, отличающие движение только группы мышц, а значит сделать задуманное на компонентах в наличии не представилось возможным. Было перепробовано очень много вариантов получения информации о кинематике руки с помощью датчиков, но более-менее точных данных для программирования получить не удалось. Из чего делаем вывод, что за небольшие деньги данный проект не реализуем и лучше использовать альтернативы нейроинтерфейса, например, какой-либо дополнительной конструкции на руку или иной способ управления.

3. Заключение

Данный проект вполне реализуем и его можно довести до конца, используя дорогое оборудование или, как более рациональный способ, использовать альтернативные источники управления.

Тем не менее проект доведен до финальной стадии, было получено очень много ценного опыта в проектировании, программировании, пайке и прочем.

В качестве итога научной работы хотелось бы сказать, что данный проект может быть доработан и использован в самых различных отраслях по изначально продуманному назначению, описанному в эпилоге работы. Получили вывод, что нейроинтерфейс на момент 2022 года использовать не рационально для подобных целей, так как существуют другие более точные и дешевые аналоги. Также получаем, что Arduino плата и проектирование практически любой конструкции для каких-либо задач, в которых не требуют от техники слишком больших нагрузок – очень хороший вариант, не требующий больших сил и материальных вложений.

Приложение А. Код для работы одного моторчика

```
#include <Servo.h> // Подключаем библиотеку для работы с сервоприводом

Servo servo1; // Создаем объект типа «сервопривод»

void setup()
{
    servo1.attach(3); // Соединяем servo1 с портом управления, в данном случае третьим
}

void loop()
{
    servo1.write(180); // Даем команду первому сервоприводу принять новое положение
    delay(10000);      // Делаем паузу перед следующим перемещением
}
```

Приложение Б. Код для работы пяти моторчиков «на износ»

```
#include <Servo.h> // Подключаем библиотеку для работы с сервоприводом

Servo servo1;      // Создаем объект типа «сервопривод»
Servo servo3;
Servo servo2;
Servo servo4;
Servo servo5;      // Создаем еще 4 объекта типа «сервопривод»

void setup()
{
    servo1.attach(3); // Подключаем моторчики в соответствующие пины
    servo2.attach(5);
    servo3.attach(7);
    servo4.attach(9);
    servo5.attach(11);
}

void loop()
{
    servo1.write(180); // прокручиваем моторчик и даем ему 0,1 секунды на передышку
    delay(10000);
    servo2.write(180); // даем данную операцию выполнять каждому моторчику
    delay(10000);
    servo3.write(180);
    delay(10000);
    servo4.write(180);
    delay(10000);
    servo5.write(180);
    delay(10000); }
}
```