Пояснительная записка к проекту (Пневматический сустав):

**Состав команды:**

Белов Михаил Сергеевич Б01-302 – отвечал за пневматическую систему, разработку корпуса, административные коммуникации (с представителями Фабрики и продавцами клапанов).

Мартыненко Егор Викторович Б01-302 – отвечал за электронику и программирование.

**Причина выбора проекта:** один из участников команды очень заинтересовался работой пневматических мышц.

**Цели:**

* Создание прототипа сустава на ESP32 с дальнейшей возможностью расширения на полноценный манипулятор.

**Задачи:**

* Проектирование пневматических мышц и конструкции сустава
* Подбор компонентов
* Создание 3D-модели и электронной схемы
* Написание прошивки
* Сборка системы

**Описание устройства:**

Проект представляет собой прототип сустава на базе микроконтроллера \*\*ESP32\*\*, изгибающегося за счёт перераспределения давления в эластичных камерах - мышцах. Управление и передача информации с датчика гироскопа в реальном времени осуществляется через Wi-Fi. Сустав состоит из двух треугольных пластин: подвижная и неподвижная, соединённых тремя мышцами.

**Процесс решения задач:**

Сперва пневматические мышцы были спроектированы в виде гофры, состоящей из шестиугольных сегментов. Каждый такой сегмент включал в себя три воздушные камеры, изменяющие объем при изменении давления. В дальнейшем было принято решение отказаться от такой конструкции в силу нехватки времени — возникло множество проблем с остальными задачами проекта. Реализованная конструкция представляет собой две треугольные платформы, соединенные воздушными камерами (воздушными шариками). Одна из платформ статична, другая изменяет положение в зависимости от распределения давления по шарикам.

Затем был определен список необходимых компонентов — 3 соленоидных клапана, микроконтроллер STM32-F103C6, датчик давления, кнопка, понижатель напряжения до 5В, транзисторы, резисторы, воздушные шарики. В процессе работы оказалось, что программирование STM32 занимает слишком большое количество времени, и передача и визуализация данных с него затруднена, в связи с чем микроконтроллер заменили на ESP32. В ходе тестирования выяснилось, что датчик давления не работает — его заменили гироскопом-акселерометром MPU6050. Вместо соленоидных клапанов сначала были приобретены соленоидные распределители давления, что вызвало множество проблем, так как вовремя обнаружить ошибку не удалось.

Создание электронной схемы не вызвало больших проблем. Из-за нехватки времени было принято решение отказаться от печатной платы и минимизировать пайку, поэтому схема собиралась на макетной плате. В процессе тестирования выяснилось, что подключение клапанов напрямую к транзисторам вызывает слишком большие скачки тока, поэтому в схему были добавлены резисторы. (<https://github.com/Misha-Belov/Pneumatic-Joint/tree/main/schematics>)

3D модель платформ прошла через несколько итераций, связано это с недостатками 3D печати, на обход которых не хватило времени — некоторые элементы пришлось убрать (выемки для фиксации шариков). 3D модель распределителя также корректировалась — уменьшался размер для уменьшения времени печати. 3D модель корпуса разрабатывалась в последнюю очередь, в ней сразу были учтены все особенности проекта, поэтому ее корректировать не пришлось. Корпус был спроектирован в виде деревянной коробки с безклеевыми соединениями — для быстроты изготовления и простоты доступа к электронике. (https://github.com/Misha-Belov/Pneumatic-Joint/tree/main/models)

Прошивка для STM32 разрабатывалась на C с библиотекой libopencm3, с переходом на ESP32 C сменился на язык платформы Arduino IDE с библиотеками Arduino. Оптимальным вариантом управления оказалось управление с веб-сайта. Он включает в себя элементы управления (кнопки) и визуализации данных, поступающих с микроконтроллера. С помощью библиотек на ESP32 был написан веб-сервер. Все статические ресурсы сайта хранятся в флеш-памяти ESP32. Сервер также содержит WebSocket, через который на сайт поступают данные с микроконтроллера, а на контроллер — команды с сайта. Выбор этой технологии обусловлен стабильностью и скоростью соединения. Прошивка также обрабатывает нажатия кнопки с помощью прерываний — для стабильной работы кнопки в не зависимости от ошибок и зависаний в программе. (<https://github.com/Misha-Belov/Pneumatic-Joint/blob/main/SimpleWiFiServer.ino>)

**Аналоги:**

- [Пневматический манипулятор на Habr]([https://habr.com/ru/articles/814127/](https://www.instructables.com/Soft-Robots-Make-An-Artificial-Muscle-Arm-And-Gri/))

**Отличительные особенности:**

- Значительно упрощённая пневматическая система

- Расширяемая архитектура для новых модулей

**Процесс изготовления и тестирования:**

Перед изготовлением спроектированного проекта было принято решение протестировать все компоненты по отдельности. На этом этапе основные проблемы были связаны с выбором источника давления, изначальной ошибкой в выборе клапанов, нерабочим состоянием датчика давления и трудности программирования STM32.

Первой решилась проблема источника давления — из доступных средств была спроектирована и изготовлена система, позволяющая с помощью ручного насоса добиться давления в ~2 атм и поддерживать его достаточное для наших целей время. Затем была совершена замена STM32 на ESP32, что значительно упростило процесс тестирования компонентов. Была написана тестовая версия прошивки (без получения данных с датчика, вместо клапанов контролировались светодиоды). Затем нерабочий датчик был заменен на MPU6050, работа которого была проверена на тестовой прошивке. Наконец, была исправлена ошибка в выборе клапанов, и вместо распределителей были приобретены соленоидные клапаны.

Больше всего времени ушло на тестирование и корректировку пневматической системы. С помощью изготовленного источника давления она проверялась на утечки, затем они устранялись с помощью клеевого пистолета. Этот процесс был повторен несколько раз. Также при попытке включить напечатанную платформу в систему оказалось, что диаметр отверстий под шланги в ней был выбран слишком маленький. На новую модель времени не оставалось, поэтому отверстия расширили на уже готовой платформе. Возникли также проблемы с присоединением шариков к платформе - не хватало фиксирующих элементов, а острые края платформы быстро изнашивали шарики. Эта проблема так и не была решена полностью.

Сборка электронной схемы происходила поэтапно. Первым этапом было подключение питания (блок питания на 12В) и понижателя напряжения, испытание схемы питания с микроконтроллером. Затем - подключение гироскопа-акселерометра к микроконтроллеру. Затем был собран блок транзисторов (вместо клапанов они активировали светодиоды). После была подключена кнопка. После ее тестирования обнаружился высокий уровень шума при размыкании и замыкании. Эта проблема была решена программно, с помощью задержки между прерыванием и считыванием состояния кнопки. В последнюю очередь один из светодиодов заменили клапаном, тогда же заметили необходимость в дополнительных резисторах. Наконец, полная схема была собрана одновременно с последней версией пневматической системы, и проект был полностью собран и протестирован. В результате была обновлена прошивка (изменили время открытия клапанов, добавили кнопки открытия клапанов по отдельности), обнаружились проблемы со схемой питания — излишне частое открытие клапанов вызывает перезагрузку микроконтроллера, также он плохо подключается к сети Wi-Fi. Эти проблемы не были решены.

Параллельно шел процесс проектирования и сборки корпуса, и итоговая сборка проекта производилась уже в нем.