

# МЯГКИЙ СЕГМЕНТНЫЙ МАНИПУЛЯТОР НА ОСНОВЕ ПРОДОЛЬНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

Студент группы 10309120 Бобрик Д.А.

*Научный руководитель – старший преподаватель Козлов Ю. В.*

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

## Введение

**Наименование разрабатываемого устройства:** мягкий сегментный манипулятор на основе продольных движителей.

Устройство представляет собой комбинацию элементов трех неклассических областей робототехники: мягкой робототехники, продольных сегментных манипуляторов и искусственных мышц. В ходе проекта предполагается получить более дешевый, безопасный и портативный аналог манипуляторов пригодный для работы с людьми и мягких или сложной формы объектов.

**Назначение устройства:** управление сегментами мягкого манипулятора с 6 степенями свободы по заданному алгоритму.

**Цель создания устройства:** освоение и оценка применимости мягкого сегментного робота-манипулятора на основе искусственных мышц из нейлоновых нитей.

**Актуальность темы:** Современные конструкционные решения уперлись в пределы применения классических жестких манипуляторов. На текущий момент стоит задача поиска и оценка применимости новых конструкций и материалов для расширения возможностей роботов-манипуляторов и создания принципиально новых технологий и применений.

**Задачи, решение которых предусматривается в ходе разработки устройства:**

1. Изучить кинематику и принципы движения манипуляторов;
2. Провести обзор существующих аналогов;

3. Разработать структурную схему;
4. Разработать схему электрических соединений;
5. Построить 3D модель деталей.
6. Провести предельной полезной нагрузки, потребления, полученного манипулятора.

#### **Технические требования:**

- Манипулятор должен иметь деформируемый корпус с возможностью восстановления формы;
- В конструкции должны быть использованы мягкие технологии для минимального использования жестких конструкционных элементов;
- Манипулятор должен выдерживать деформации при операциях и иметь достаточную силу для перемещения объекта.

#### **Обзор аналогов мягких сегментных манипуляторов**

Основой для конструкторского решения явился набор аналогов, существующих на рынке, анализ их состава и функций. Основными элементами подвергшимся анализу были: конструкционные особенности, используемые движители, материалы и обеспечиваемые характеристики. Ниже приведены некоторые из них:

#### **Установка манипулятор Octoarm VI**

Данная лабораторная установка представляет собой непрерывный сегментный манипулятор на основе пневматических мышц. Данный манипулятор имеет двигатель для ротации и 3 сегмента пневмомышц: 2 с 6 движителями, 1 с 3 движителями. Для обратной связи данный манипулятор использует энкодеры лесок, которые различно растягиваются при движениях манипулятора.

#### **Рука-манипулятор Make IT Happen MKN-800 Pliable**

Гибкая роботизированная рука-манипулятор Make IT Happen MKN-800 основана на инновационной технологии, использующей мягкие мышцы в качестве роботизированных приводов вместо обычных двигателей и

редукторов, обеспечивая непревзойденный вес, податливость и интерактивную безопасность.

Благодаря новому пневматическому приводу и механической конструкции серия MKN позволяет добиться высокой маневренности в ограниченном и сложном пространстве. При взаимодействии с людьми и оборудованием безопасный контакт и столкновение могут быть реализованы без сложных сенсорных систем. Высокое соотношение полезной нагрузки к весу - максимальное соотношение полезной нагрузки к весу 3:1 (традиционное 1:3) позволяет применять серию MKN на платформах широкого спектра применения без ущерба для грузоподъемности, сохраняя при этом высокую безопасность.

Характеристики:

- Полезная нагрузка (номинальная-Максимальная): 3 - 15 кг;
- Ловкость и гибкость: Линейное выдвижение до 300 мм | податливость на 360 ° | всенаправленный изгиб;
- Радиус действия: 800 мм;
- Рабочая мощность: 30 Вт;
- Рабочее напряжение: 24 В;
- Ввод-вывод контроллера: RS232 / 485;
- Вес: 3 кг;
- Цена: 32 000\$.

### **Выбор компонентов для мягкого сегментного манипулятора**

Из структурной схемы видно, что система управления роботизированной системой состоит из следующих компонентов:

- 1) Устройство управления;
- 2) Приводы;
- 3) Плата согласования двигателей;
- 4) Датчики;
- 5) Источник питания;

б) Устройство ввода;

7) Устройство вывода;

### **Устройство управления**

В качестве компонента блока «Устройство управления» можно использовать один из микроконтроллеров с большим количеством выводов.

Из микроконтроллеров выбираем ATmega2560-16AU из-за большого числа ШИМ и цифровых выводов, большого объема FLASH памяти, высокой тактовой частоты, а также наличия поддержки большинства интерфейсов связи.

Для уменьшения стоимости конструкции можно использовать меньшее число независимо управляемых двигателей и устройство управления с меньшим числом выводов, заметно уменьшая расходы на компоненты.

Для обеспечения передачи данных и возможности программирования через USB интерфейс, необходим преобразователь интерфейса USB – UART.

Из микросхем выбираем PL2303 из-за высокой скорости передачи данных.

### **Приводы и исполнительное устройство**

За перемещение сегментов манипулятора будут отвечать продольные двигатели на основе искусственных мышц. Искусственные мышцы выбраны для данного проекта по следующим причинам: податливость, габаритное и конструктивное преимущество. В качестве искусственных мышц могут быть использованы: металлы с памятью формы (SMA), пьезоэлементы, тепло- и электропроводящие полимеры, углеродные нанотрубки. Однако по отдельности каждый вид мышц из данных материалов либо дорог, либо неперспективен. Но благодаря комбинации материалов и их технологии сокращения были получены перспективные образцы искусственных мышц с значительным сокращением и внушительной полезной нагрузкой. Наиболее интересны два образца приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Образцы искусственных мышц

№ образца	Потребляемый ток, мА	Относительное сокращение, %	Материал
4	15	35.5	Силиконовая резина ИРП-1265, Эпоксидная смола DER 331, катализатор Граббса, сплав никель-цирконий, нейлоновое волокно, углеродная нанотрубка.
2	12	29	Силиконовый каучук СКТФВ, эпоксидная смола, амид натрия, нитинол, нейлоновое волокно, бутадиен-нитрильный каучук.

Из данных образцов выбираем №2 из-за низкой стоимости, т.к. не используются углеродные нанотрубки, а более доступные материалы при незначительно меньших для поставленной задачи характеристиках.

#### **Плата согласования двигателей**

В качестве микросхемы согласования выбираем преобразователь уровня напряжения CD40109BE. Это простая микросхема и по параметрам они мало различаются и в основном отличаются по цене, поэтому выбираем дешевый компонент с удовлетворительными характеристиками.

#### **Датчики**

Для измерения угла отклонения и текущего углового положения используем акселерометры и гироскопы.

Можно установить гироскопы L3G4200D, что позволит узнать ориентацию точки сегмента в пространстве, а установка акселерометров LIS2DW12TR, позволит узнать ускорение и скорость с точностью, что понадобится в алгоритмизации движения. LSM330DLC совмещает акселерометр и гироскоп имея при этом независимые каналы на каждую из осей с высокой точностью по каждому из направлений.

Из данных датчиков выбираем LSM330DLC из-за точности измерения при совмещении необходимых двух функций.

#### **Источник питания**

В качестве источника питания используем сетевое напряжение, подаваемое через блок питания.

Из данных адаптеров выбираем IR6-500S из-за достаточных параметров для питания установки при низкой стоимости.

В качестве источников питания напряжением 3.3В и 5В для питания микроконтроллера и датчиков используем стабилизаторы напряжения NCP1117DT33G и 78D05L, которые могут выдать ток до 1 А, что является достаточным для всей периферии, используемой в проекте.

### **Устройство вывода**

В качестве устройства вывода будем использовать жидкокристаллический дисплей из-за дешевизны и простоты использования и малого объема информации для вывода.

Выбираем RG12864A-TNI за дешевизну и удобную плату для установки в проект при высоком разрешении и размере экрана.

### **Устройство ввода**

Для устройства ввода будем использовать 3D джойстики для ориентации по меню настройки и для управления устройством.

Выбираем 3D-джойстик Trema-модуль за дешевизну и удобную плату для установки в проект.

## **Трёхмерная модель мягкого сегментного манипулятора**

### **Построение модели**

Установка состоит из базы крепления, сокращающихся сегментов и трехпальцевого манипулятора.

База, её крышка, сегментные крепления и манипулятор отливаются в формах из силиконовой резины (рисунок 1). База и сегменты соединены между собой соединителями и искусственными мышцами.

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	10000000	Н/м <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона	0.25	Не применимо
Модуль сдвига	30000000	Н/м <sup>2</sup>
Массовая плотность	1246.5	кг/м <sup>3</sup>
Предел прочности при растяжении	6000000	Н/м <sup>2</sup>
Предел прочности при сжатии	6000000	Н/м <sup>2</sup>
Предел текучести	20000	Н/м <sup>2</sup>

Рисунок 1 – Параметры силиконовой резины.

База представляет собой полое цилиндрическое тело с прикручиваемой крышкой и пазом под порт питания. Внутри полости базы крепится плата и через соединители ведется проводка для всего устройства.

Сегментные крепления представляют собой тела дисковидной формы с пазами под крепления искусственных мышц, отливаемые в форме с заранее закрепленной внутренней проводкой. Отливая таким образом тела, получаем возможность опосредованного подключения питания искусственных мышц из полого сегмента манипулятора.

Соединители сегментов представляют собой два крепления с толстой резиновой полый трубкой соединяющих их, поверх которой натянута пружина сжатия, выполняющая функцию жесткости тела.

Искусственные мышцы изготавливаются в виде продольных цилиндрических трубок, на концы которых крепятся разъемы, на которые в свою натягивается пружина растяжения, выполняющая компенсацию избыточного растяжения.

Манипулятор представляет собой сплошную отливку с полостями под искусственные мышцы, которые присутствуют в них при отливке. Сжатие или растяжение пальца происходит посредством управления мышц в нем и за счёт разной толщины материала по разные стороны полости мышц.

## **Расчёт напряженно-деформированного состояния мягкого сегментного манипулятора**

Проверка будет производиться по самому нагруженному сегменту в условиях эксплуатации: сегмент испытывает давление веса верхних сегментов и тела, удерживаемого манипулятором в горизонтальном положении.

В такой постановке нагрузка будет приложена к верхней плоскости сегментного крепления и будет равняться 50 Н (0.5 кг веса верхних сегментов и 4.5 кг испытательного груза). Между сегментами приложим связь пружины из инструментальной стали с жесткостью 50 Н/мм. С пересчетом на угол приложения и количество пружин на площадь площадки крепления пружин, получим плотность нормальной жесткости растяжения и сжатия 100 Н/м<sup>3</sup> и предварительную загрузку пружины 0,2 Н/м<sup>2</sup>.

Максимальное перемещение сегментного крепления составляет 0,1 мм при значительной нагрузке в соотношении масс объекта и манипулятора.

### **Блок-схема алгоритма работы мягкого сегментного манипулятора**

С помощью данного алгоритма можно управлять режимом работы установки, посредством задания траектории движения для позиционирования объекта и манипуляций с ним в процессе выполнения, предела отклонения от требуемой траектории.

Можно управлять:

- От 6 степенями свобод объекта манипуляций
- Степенью натяжения или сжатия каждого из сегментов
- Ориентацией звеньев на всей длине манипулятора

Данное управление требуется для операций над объектами с сложной формой или процессов с сложным путем перемещений объекта.

С помощью данного алгоритма можно управлять режимом работы установки, посредством задания траектории движения для позиционирования объекта и манипуляций с ним в процессе выполнения, предела отклонения от требуемой траектории.

Можно управлять:

- От 6 степенями свобод объекта манипуляций
- Степенью натяжения или сжатия каждого из сегментов
- Ориентацией звеньев на всей длине манипулятора

Данное управление требуется для операций над объектами с сложной формой или процессов с сложным путем перемещений объекта.

### **Заключение**

В соответствии с темой проекта было разработано схмотехническое решение мягкого сегментного манипулятора на основе продольных движителей. На основании используемых средств и анализа аналогов, распространённых на рынке, была разработана структурная схема. В соответствии с последней подобраны компоненты мехатронной системы, позволяющие обеспечить все требуемые функции, и разработана принципиальная схема. Согласно цели управления составлена блок схема алгоритма работы устройства, обеспечивающая настройку установки оператором, индикацию во время работы на основании обработки данных с датчиков.

Конструкторские задачи решены, конструкция выдерживает рабочую нагрузку.