

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ МУСКУЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Студент гр.10303120 Сидоренко К.Р.

Научный руководитель – профессор Якимович А.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Основным современным трендом развития техники и технологии является увеличение качества производимых продуктов при увеличении доли автоматизации труда. С появлением новых материалов и развитием технологических процессов, становится возможным использование новых технических подходов, упрощающих решение традиционных задач. Примером данного явления является распространение в технике двигателей шлангового (оболочкового) типа, или по-другому «пневматических мускулов».

Пневматический мускул – это эластичный механизм, состоящий из мягкой эластичной трубки 1; армированного фиброволокна 2, уложенного в ромбовидном порядке; крышек 3 и 4; канала подачи сжатого рабочего газа 5 (рисунок 1). Также в сборке присутствует системы газонаполнения, контрольно-исполнительных приборов для обеспечения автоматического управления.

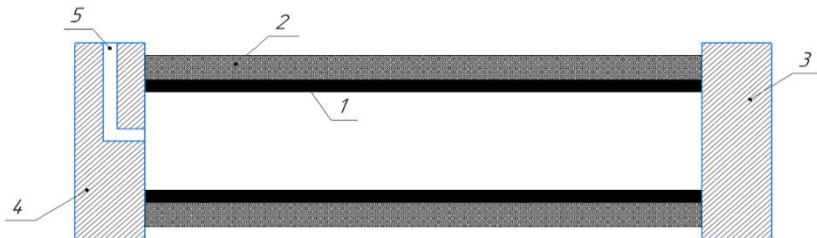


Рисунок 1 – Устройство пневмомускула

Как и большинство изобретений человека, идея была подсмотрена у природы. Принцип действия таких оболочковых двигателей во многом основан на подражании работе скелетных мускулов живых существ: при первичном утолщении мышца

развивает тянущее усилие, и кости, к которым она прикреплена, по мере ее осевого сокращения, подтягиваются друг к другу. Тянущее усилие, развиваемое шланговыми пневмодвигателями, может в несколько раз превышает усилие, развиваемое поршневыми пневмоцилиндрами такого же диаметра.

Пневматические искусственные мышцы были впервые разработаны под названием *McKibben Artificial Muscles* в 1950-х годах для использования в протезах конечностей. Японская компания *Bridgestone*, производящая резину и шины, коммерциализировала идею в 1980-х годах под названием *Rubbertuators* (рисунок 2).

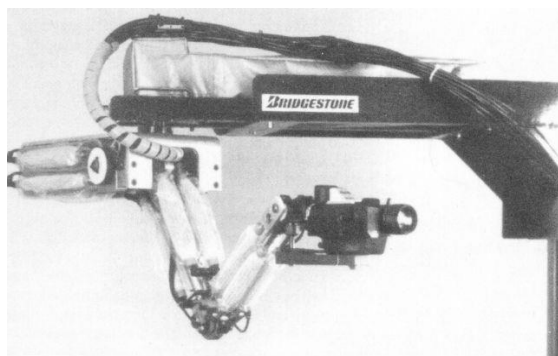


Рисунок 2 – *Rubbertuators* by *Bridgestone*

Примером современного производства является международный концерн *Festo* – ведущий мировой поставщик пневматических и электромеханических систем для автоматизации производства различных отраслей промышленности. Технические характеристики пневматических мускулов (на примере *DMSP Festo*, Германия)

- Номинальная длина: от 30 до 9000 мм.
- Подъемная сила: от 0 до 6000 Н.
- Типоразмер: 5, 10, 20, 40 мм.
- Длина хода: от 0 до 2250 мм.
- Максимальное сокращение: от 20 до 25% от номинальной длины.
- Максимальная дополнительная нагрузка, свободно подвешенная: от 5 до 250 кг.

- Теоретическое усилие при максимальном допустимом рабочем давлении: от 140 до 6000 Н.
- Рабочее давление: от 0 до 0,8 МПа.
- Температура окружающей среды: от -5 до +60°С

Основными характеристиками являются габаритные размеры, что позволяет использовать пневмомускулы в стеснённых условиях; развиваемое усилие и рабочее давление.

Принцип работы

Подобно человеческим мышцам, для создания воздействия, происходит сокращение: в герметичную полость, снаружи опутанную гибкими связями, с помощью компрессора и системы клапанов, подается сжатый воздух. При повышении давления (обычно до 0,5–0,8 МПа из-за ограниченной прочности материала) оболочка раздувается, растет объем, увеличивая радиальные размеры полости. В это же время, за счёт нерастяжимости окаймляющих связей из-за сохранения их длины появляются усилия, уменьшающие осевые размеры системы. Предельное состояние сжатия такой мышцы – шар. При достижении данной формы оболочки дальнейшее увеличение объема рабочего тела невозможно, и привод перестает совершать работу.

Необходимо отметить, что оболочковый мускул данного типа, как и природный прообраз, является приводом одностороннего действия – т.е., работающим исключительно на сокращение. При подаче внутрь оболочки воздуха под давлением, создается сила, направленная на уменьшение линейного размера мышцы, но обратного процесса не происходит. Для возврата системы в исходное «расслабленное» состояние, а также для возможности двухсторонней работы привода, чаще всего применяются схемы, в которых мышцы делают парными – то есть, антагонистами (рисунок 3). В такой паре, одна отвечает за сжатие, а ее антагонист – за растяжение.

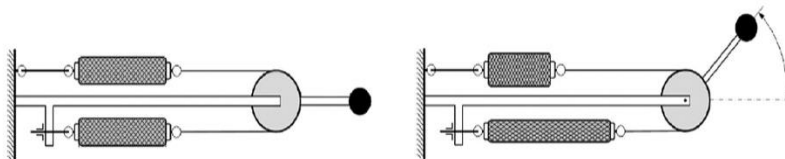


Рисунок 3 – Мышцы-антагонисты

Тянущее усилие мышца определяется уравнением:

$$F = -p \frac{dV}{dl}.$$

Жёсткость пневмомышцы определяется как производная от усилия:

$$K = \frac{dF}{dl} = -\frac{dp}{dV} \left(\frac{dV}{dp} \right)^2 - p \frac{d^2V}{dl^2}.$$

Первая составляющая определяется сжимаемостью газа, вторая – переменной эффективной площадью в условиях изобарного процесса. Также можно заметить, что увеличение давления влечёт за собой увеличение жёсткости привода.

При использовании мышц-антагонистов тянущие усилия определяются уравнениями:

$$F_1 = -p_1 f_1 (l_{10} - x) \text{ и } F_2 = -p_2 f_2 (l_{20} - x),$$

где f_1 и f_2 – эффективная площадь мышц;
 x – положение нового равновесного состояния.

Результирующая сила рассчитывается по формуле:

$$F = F_1 - F_2 = -p_1 \frac{dV_1}{dl_1} + p_2 \frac{dV_2}{dl_2} = p_1 \frac{dV_1}{dx} + p_2 \frac{dV_2}{dx}$$

Жёсткость антагонистической пары определяется выражением:

$$K = -\frac{dF}{dx} = -\frac{dp_1}{dV_1} \left(\frac{dV_1}{dx} \right)^2 - \frac{dp_2}{dV_2} \left(\frac{dV_2}{dx} \right)^2 - p_1 \frac{d^2V_1}{dx^2} - p_2 \frac{d^2V_2}{dx^2}$$

Преимущества и недостатки

Преимущества:

- 1) Механическая мышца обладает инверсной силовой характеристикой (это значит, что механическая мышца работает от максимальной мощности, которая к концу работы снижается до нуля). Данное свойство позволяет осуществлять интенсивный разгон привода и последующее его торможение.
- 2) Низкая стоимость из-за исключения из конструкции различного рода компенсирующих звеньев (подшипниковые опоры), низкие требования на допуски по точности расположения и качеству обработки посадочных мест для мышц в конструкции, что упрощает механическую обработку. Для примера, пневмомускул Festo DMSF-20 (с учётом поставки из Германии) стоит 1200\$.

- 3) Применение в конструкции мышц новых материалов, отсутствие трущихся частей (соответственно не нужна смазка и техническое обслуживание в период работы), отсутствие люфтов подвижных частей, а также устойчивость материала к агрессивным условиям значительно расширяет область применения
- 4) Оболочковые двигатели обладают высокой надежностью срабатывания даже при отрицательных температурах эксплуатации.
- 5) Большая удельная мощность, большой ресурс работы и меньшая масса по сравнению с пневмоцилиндрами, что позволяет облегчить конструкцию приспособления (рисунок 4).

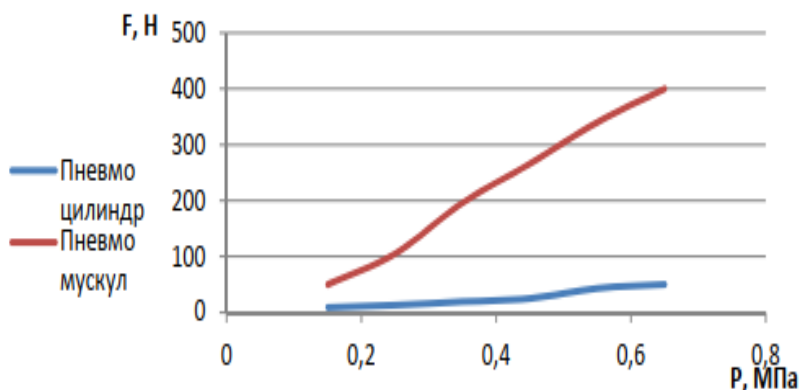


Рисунок 4 – Сравнительные характеристики пневмомускула и стандартного пневмоцилиндра того же диаметра

Недостатки:

- 1) Необходимость в устройстве для нагнетания воздуха (например, компрессоре).
- 2) Малая величина продольных перемещений относительно длины (до 25%).
- 3) Меньший диапазон рабочих температур по сравнению с традиционными приводами.
- 4) Нереверсивность работы.

Применение в жизни

Пневмомускулы широко применяются в разных областях, таких как:

1. Промышленность: для управления и перемещения всевозможных промышленных механизмов, таких как конвейеры, роботы и т.д.
2. Транспорт: для тормозных систем автомобилей и грузовиков.
3. Медицина: для создания аппаратов и оборудования для медицинских целей, таких как рентгеновские аппараты и инфузионные насосы.
4. Робототехника: для создания мягких роботов, которые могут подражать движениям животных и даже людей.
5. Авиация и космическая техника: для управления крыльями самолетов, элементами космических кораблей и спутников.

Пневматический мускул обеспечивает натяжение клиновых ремней на цементных и бетонных заводах. В шахтах пневматический мускул используется как силовой элемент в механизмах перевода стрелок. Благодаря закрытости системы и функции самоочищения это – великолепное решение для применения в запыленной атмосфере, а часто и в самозатвердевающих суспензиях.