

УДК 681.527.2

Проектирование электромеханического привода трапеце-пястного сустава антропоморфного схвата робота

*Салас Кордеро София Каролина, студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»*

*Научные руководители:
Перминова Е.А., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Кафедра «Элементы приборных устройств»*

*Бошляков А.А., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»
kafsm7@sm.bmstu.ru*

На сегодняшний день существует большое количество компаний, которые разрабатывают антропоморфные схваты, например Bebionic, Shadow Robot Company, Elumotion Ltd. и др. Компания «Shadow robot» разработала *Shadow Dexterous Hand* [8] с 24 суставами. Каждое соединение имеет диапазон подвижности, такой же или очень близкий к диапазону подвижности сустава человеческой руки, в том числе соединения большого пальца и даже изгиб ладони при движении мизинца. Приведение суставов руки в движение осуществляется посредством электромеханических или пневматических приводов. В электромеханическом варианте движение передаётся от мотор-редукторов к выходным ступеням с помощью тяг (тросов). Эта конструкция имеет относительно высокие силовые показатели. Недостатком схвата в этом случае являются:

- массивность конструкции, т.е. невозможность её применения в качестве протеза из-за слишком большой и тяжёлой области предплечья;
- необходимость в охлаждении;
- низкие по сравнению с человеческой рукой скоростные показатели.

Компания «Elumotion Ltd.» разработала *Elu2-hand* [9]. В отличие от предыдущей модели мотор-редукторы, расположенные в запястье, компактнее и экономичнее. Такая

конструкция имеет 9 приводов, т.е. меньше независимых степеней свободы, суставы одного пальца взаимозависимы т.к. приводятся в движение от одного мотор-редуктора.

Рука человека содержит около 29 подвижных суставов, что обеспечивает захватывание объектов сложной формы и точное манипулирование. В разработке антропоморфных захватывающих устройств реализуется упрощение, благодаря которому достигаются основные и наиболее применимые типы движения с помощью относительно малого количества подвижных суставов. Функция указательного, среднего, безымянного пальцев и мизинца заключается в сжатии предмета и разжати для отпускания. Иными словами, эти четыре пальца совершают, в основном, один вид перемещений - сгибание-разгибание в суставах фаланг. А большой палец, как известно, играет заметную роль в жизни человека, помимо сгибания-разгибания тоже имеет антипозиция – движение, которое выносит большой палец перед плоскостью ладони. На рис.1 изображена кинематическая схема полученного упрощения руки. Данная работа посвящена проектированию привода, выделенного на рисунке квадратиком. Этот привод, осуществляет вращение большого пальца в трапеце-пястном суставе, за счёт которого и происходит вынесение большого пальца перед плоскостью ладони. Разработка привода является частью разработки конструкции антропоморфного захватывающего устройства для дистанционной эксплуатации в экстремальных условиях, опасных для человека, и его кинематические параметры должны соответствовать параметрам настоящей руки человека.

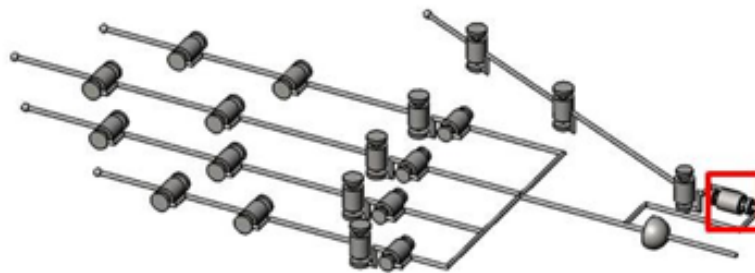


Рис. 1. Принципиальная кинематическая схема

Цель работы заключается в проектировании электромеханического привода (ЭМП) с учетом исходных данных и требований технического задания. Для этого необходимо выбрать тип двигателя, определить наиболее рациональный схмотехнический состав привода и рассчитать элементы его конструкции, обеспечивающие функционирование ЭМП.

Таблица 1

Результаты измерений мощностных характеристик человеческой руки

Привод	Диапазон рабочих углов	Рабочий момент	Максимальная скорость
Вращение большого пальца в трапеце-пястном суставе	0÷120°	1.4 Нм	5,24 рад/с

В начале были исследованы мощностные характеристики человеческой руки. Для этого необходимо было провести измерение скорости и моментов сил в суставах человека. Характеристики руки были определены экспериментальным путем. Момент определялся динамометрией трапеце-пястного сустава, а измерение скорости при движении без нагрузки было проведено с помощью высокоскоростной камеры (120 кадров в секунду) на основе определения покадрового перемещения.

Для построения привода был выбран бесколлекторный двигатель «EC flat 32» фирмы «Махон» с гладким валом (номер изделия в каталоге «Максон» 267121) [7], исходя из требуемых габаритов и мощности. Для такого двигателя постоянного тока сама фирма предлагает некоторые редукторы, среди которых «Planetary Gearhead GP 32 A» подходит больше всего. Этот редуктор состоит из трёхступенчатой планетарной передачи. Для диверсификации набора доступных редукторов в процессе разработки схмотехнического состава привода выбрана конструкция многоярусного редуктора с цилиндрическими прямозубыми колесами.

В ходе кинематического расчета ЭМП [1], во-первых, было определено передаточное отношение цепи двигатель-выходной вал, как отношение угловой скорости вала двигателя к угловой скорости выходного вала в радианах в секунду.

$$i_0 = \frac{\omega_{\text{вх}}}{\omega_{\text{вых}}} = \frac{474,38}{5,24} = 90,53, \quad (1)$$

где

i_0 – общее передаточное отношение,

$\omega_{\text{вх}}$ – угловая скорость вала двигателя,

$\omega_{\text{вых}}$ – угловая скорость выходного вала.

Так как основное ограничение при разработке модели редуктора заключается в том, что диаметр его конструкции не должен превышать 32 мм, был проведено проектирование по критерию минимизации габаритов. В этом случае число ступеней определяется следующим образом:

$$n = 1,85 \times \lg i_0 = 1,85 \times \lg(90,53) = 3,62, \quad (2)$$

где

n – число ступеней.

Полученное значение n было округлено до целого числа в большую сторону, т.е. число ступеней равно 4.

Таблица 2

Результирующие передаточные отношения по ступенями

Ступень	Передаточное отношение	Число зубьев шестерня	Число зубьев зубчатого колеса
1	3,08	12	37
2	3,10	10	31
3	3,10	10	31
4	3,10	10	31

$$i = 3,08 \times (3,10)^3 = 91,756 \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{91,756 - 90,53}{91,756} = 1,34\% \quad (4)$$

В итоге фактическое передаточное отношение (3) отличается от номинального (1) не более чем на два процента - допустимая ошибка (4).

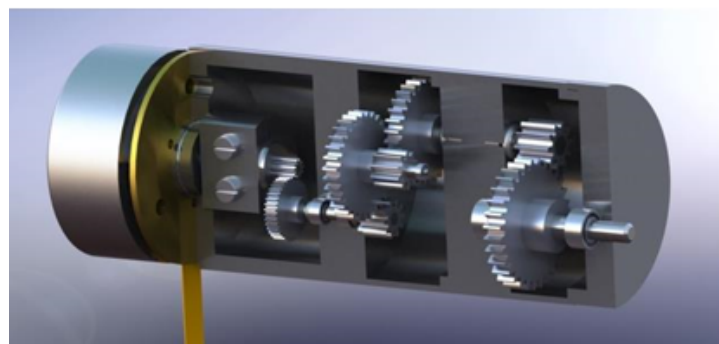


Рис. 2. 3D модель ЭМП осуществляющего вращение большого пальца в трапеце-пястном суставе

После выполнения требуемых расчетов проектирования была разработана компоновка привода в виде 3D модели (рис. 2). У выбранного двигателя есть гладкий вал. В таких случаях в последнее время используется установка шестерни на вал двигателя «клипса». Так как у редуктора 4 ступени, была выбрана конструкция трёхъярусного редуктора. Для обеспечения технологичности сборки ярусной конструкции корпус разделен на три взаимно центрируемых отсека. Чтобы вписаться в заданный габарит цилиндрического корпуса комбинация расположения колёс и шестерён в зацеплении лежит в разных плоскостях. Все шестерни изготовлены зацело с валом, кроме той, которая стоит на валу двигателя клипсой. В ходе расчёта зубчатых передач на прочность, который определяет модули зацепления и размеры передач, было решено использовать СТ-40ХСН2МА в качестве материала зубчатых колёс и СТ- Н12К12М10ТЮ в качестве материала шестерён. Сам привод расположен в запястье.

Таблица 3

Сравнение параметров проектируемого привода с его аналогом от «Максон»

Параметр	Общее передаточное отношение	Число ступеней	КПД, %	Размеры, мм	Рабочий выходной момент, Нм
Проектируемый привод	91,756	4	78	φ34*89,7	1.4
Аналог от «Махон»	86	3	70	φ 32*65,9	1,54

Выводы

В результате проделанной работы был спроектирован ЭМП сустава антропоморфного захватывающего устройства для обеспечения вращения большого пальца в трапеце-пястном суставе. По сравнению с соответствующим производственным аналогом от «Максон», разработанный редуктор имеет более высокий КПД при использовании двигателя «ЕС flat 32» и обеспечивает требуемый выходной момент. Однако, полученная конструкция имеет и больший продольный габарит (длину). Но, как известно, устройство расположено в запястье, и полученные габариты не противоречат требованиям технического задания.

3D модель была сделана для виртуальной симуляции работы ЭМП и для дальнейшей компоновки и симуляции устройства в целом. В будущем ещё планируется разработать систему управления захватывающим устройством и далее реализация всего устройства.

Список литературы

1. Кокорев Ю.А., Жаров В.А., Торгов А.М. Расчет электромеханического привода: учеб. пособие / под ред. Б.Н. Баранова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1995. 132 с.: ил.
2. Кокорев Ю.А., Жаров В.А., Ожерельев А.Я. Расчет электромеханического привода: учеб. пособие / под ред. О.Ф. Тищенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1988. 40 с.: ил.
3. Потапцев И.С., Нарыкова Н.И., Перминова Е.А., Буцев А.А. Разработка конструкторской документации при курсовом проектировании: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 78 с.: ил.
4. Потапцев И.С., Буцев А.А., Еремеев А.И., Кокорев Ю.А., Нарыкова Н.И., Перминова Е.А. Разработка конструкторской документации при курсовом проектировании: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 2 / под ред. И.С. Потапцева. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 82 с., ил.
5. Тищенко О.Ф., Киселев Л.Т., Коваленко А.П., Матвеев В.И., Заседателев С.М., Виляевская Т.И., Торгов А.М., Колесников Ю.А., Лепин А.Г., Павлов Е.М. Элементы приборных устройств (Основной курс): учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1. Детали, соединения и передачи / под ред. О.Ф. Тищенко. М. : Высшая школа, 1982. 304 с., ил.
6. Тищенко О.Ф., Киселев Л.Т., Коваленко А.П., Матвеев В.И., Заседателев С.М., Виляевская Т.И., Торгов А.М., Колесников Ю.А., Лепин А.Г., Павлов Е.М. Элементы приборных устройств (Основной курс): учебное пособие. В 2 ч. Ч. 2. Приводы, преобразователя, исполнительные устройства / под ред. О.Ф. Тищенко. М.: Высшая школа, 1982. 263 с., ил.
7. Электронный каталог компаний «Махон»: база данных содержит сведения о всех изделиях компаний 2014-2015. Режим доступа: <http://pdf.directindustry.com/pdf/maxon-motor/program-2014-15/7173-600371.html> (дата обращения: 10.05.2015).
8. Shadow Dexterous Hand. Available at: <http://www.shadowrobot.com/products/dexterous-hand/>, accessed 10.05.2015).
9. The best five anthropomorphic robotic hands/arms. Available at: <http://mindtrans.narod.ru/hands/hands.htm>, accessed 10.05.2015.

10. Противопоставление большого пальца. Режим доступа: http://bone-surgery.ru/view/protivopostavlenie_bolshogo_palca1/ (дата обращения: 10.05.2015).