электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

 # 11, ноябрь 2015

УДК 681.587.72

Проектирование привода сгибания/разгибания указательного пальца в проксимальном межфаланговом суставе антропоморфного схвата

***Вечерин Я.А.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»

Научный руководитель: Перминова Е.А., к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Элементы приборных устройств»

Научный консультант: 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

Введение

На сегодняшний день актуальной задачей является создание антропоморфного схвата (манипулятора, выполненного в виде руки человека). Такое устройство по своим габаритам, массе, кинематической точности, силе, скорости и др. должно соответствовать человеческой руке (пусть и с небольшими отклонениями), что позволит добиться эффективного протезирования верхних конечностей, осуществить дистанционное управление в агрессивных средах, где требуется ловкость человеческой руки и др. Важность и актуальность данного устройства обусловлена тремя факторами:

1) данное устройство поможет инвалидам войны, людям с врожденными заболеваниями и жертвам несчастных случаев;

2) современное развитие приборостроения позволяет создавать устройства малые по своим габаритам;

3) количество компаний, занимающихся разработкой антропоморфных схватов мало.

Постановка задачи

Антропоморфный схват представляет собой основание-кисть, к которой крепятся пальцы. Пальцы, как и у руки человека, состоят из трёх фаланг: проксимальной, средней, дистальной и двух суставов, как показано на рисунке 1:

Рис. 1. Строение кисти[4]

В рамках данной статьи рассмотрен силовой привод (далее привод), который будет осуществлять сгибание-разгибание в проксимальном межфаланговом суставе (см. рис. 2), соединяющем проксимальную и дистальную фаланги.

Рис.2. Сгибание пальца в проксимальном межфаланговом суставе[4]

Задачи исследования

- Оценить силу и скорость сгибания пальца в проксимальном межфаланговом суставе человеческой руки;
- Сформулировать требования к приводу антропоморфного схвата;
- Рассчитать и спроектировать привод, удовлетворяющий этим требованиям.

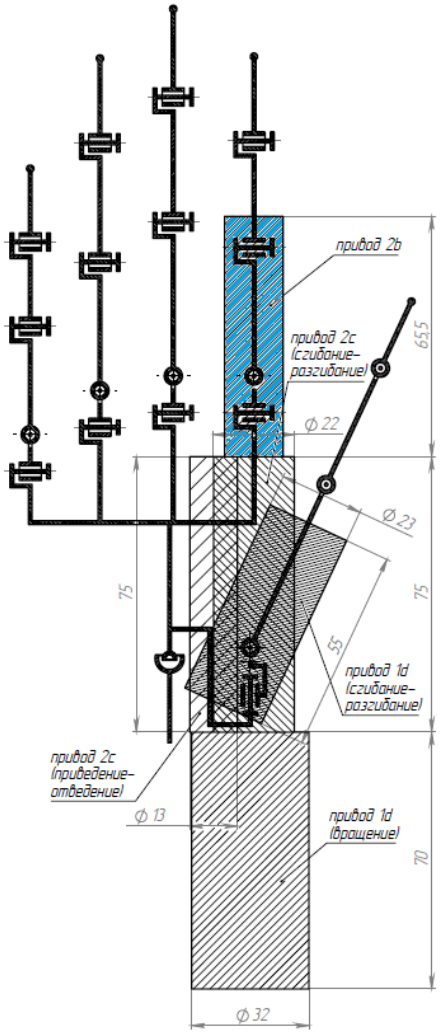
Определение силы и скорости сгибания пальца

С помощью видеокамеры со скоростью видеосъемки 120 кадров в секунду была определена максимальная скорость вращения в проксимальном межфаланговом суставе. Для этого на палец был наклеен ряд маркеров, камера фиксировала его положения через одинаковые промежутки времени. Путем деления угла поворота на время находилась скорость, сигнал обрабатывался с помощью цифрового фильтра.

Для определения силы сгибания рука фиксировалась и давила на весы так, что движение совершалось только в проксимальном межфаланговом суставе. Момент сгибания в суставе определялся путем умножения силы на плечо, равное расстоянию от середины площади давления до середины сустава.

Требования к приводу

На основании эксперимента были сформулированы следующие требования к приводу:



Наименование	Значение
Диапазон рабочих углов	$0 \div 110^0$
Максимальная скорость	300 град/с (5,24 рад/с), 50 об/мин
Рабочий момент	0,3 Нм
Импульсный момент	0,64 Нм
Размеры и расположение	См. Рис. 3. (выделен)

Рис. 3. Кинематическая схема

Расчёт и проектирование привода

Выбор двигателя

Мощностной расчёт:

$$P_{дв} \geq (P_{дв})_р, где\ (P_{дв})_р = \xi \frac{P_н}{\eta};\ (1)$$

$$P_н = M_н \omega_{вых} = 0{,}3 \cdot 5{,}24 = 1{,}572\ Вт.$$

ξ = 1.6 - коэффициент запаса для исполнительных приводов;

$\eta_0 = 0{,}73$ - КПД цепи двигатель-нагрузка

Тогда $(P_{дв})_р = 1{,}6 \cdot (1{,}572/0{,}73) = 3{,}45$ Вт.

Был найден бесколлекторный двигатель постоянного тока с относительно небольшой скоростью вращения выходного вала, необходимой мощностью и малыми габаритами. Его мощность по паспортным данным составляет 5Вт. То есть условие (1) выполняется:

$$P_{дв} \geq (P_{дв})_р;\ 5\ Вт > 3{,}45\ Вт.$$

Выбор редуктора

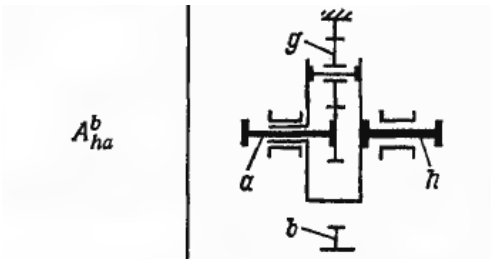


Рис. 4. Схема планетарной передачи типа А[1]

В качестве механической передачи была выбрана планетарная по схеме А (рис. 4) с тремя сателлитами. Данная передача относительно проста в изготовлении, имеет малую массу, габариты, обладает высоким КПД. Для обеспечения необходимого момента и угловой скорости на выходном валу, с учётом жёстко заданных малых габаритов, на основании предварительных расчётов был выбран редуктор из 3-х ступеней с одинаковыми передаточными отношениями, а неподвижное опорное колесо (внутреннего зацепления) в этом случае технологически целесообразно сделать общим для всей передачи.

Передаточное отношение i_o цепи двигатель – выходной вал:

$$i_0 = \frac{n_{ном}}{n_{вых}} = \frac{5840}{50} = 117,$$

где $n_{ном}$ – частота вращения вала двигателя, $n_{ном} = 5840$ об/мин;

$n_{вых} = 50$ об/мин – частота вращения выходного вала.

Тогда передаточное отношение ступени для планетарной передачи:

$$i_1 = \sqrt[3]{i_0} = \sqrt[3]{117} = 4{,}9.$$

Для передачи А передаточное отношение определяется по формуле:

$$I_1 = 1 + \left(\frac{z_b}{z_a}\right) = 4{,}9,$$

где z_b - число зубьев опорного колеса внутреннего зацепления;

z_a – число зубьев солнечного колеса.

Так как одним из основных требований является минимизация габаритов, то z_a необходимо брать как можно меньше. Вследствие этого, а также из технологических соображений оптимальным является $z_a = 13$, модуль m=0,3 мм, тогда:

$$z_b = (i_1 - 1) \cdot z_a = (4{,}9 - 1) \cdot 13 = 51.$$

Также необходимо обеспечить рабочий момент $M_р$=300 мНм, при номинальном моменте двигателя $M_{дв.ном}$=3,23 мНм. Статический момент нагрузки

$$M_c = \frac{M_p}{(i_1 \cdot \eta)^3} = \frac{300}{(4{,}92 \cdot 0{,}9)^3} = 3{,}46 \text{ мНм},$$

где η-произведение КПД подшипников на КПД зубчатой передачи.

Так как $M_c > M_{дв.ном}$, $3{,}57 > 3{,}23$, то полученный привод не удовлетворяет требованию момента нагрузки. Поэтому следует увеличить передаточное отношение, увеличив число зубьев на опорном колесе: $z_b = 53$.

$$\text{Тогда } i_1 = 1 + \left(\frac{z_b}{z_a}\right) = 1 + \left(\frac{53}{13}\right) = 5{,}08;\ M_c = \frac{M_p}{i_1 \cdot \eta^3} = \frac{300}{(5{,}08 \cdot 0{,}9)^3} = 3{,}14.$$

Чтобы обеспечить сборность передачи необходимо проверить 3 условия:

1) условие соосности;
2) условие соседства;
3) условие сборки.

1.Условие соосности: $z_a + 2z_g = z_b$, отсюда $z_g = \frac{z_b - z_a}{2} = \frac{53-13}{2} = 20$,

где z_g-количество зубьев сателлита.

2.Условие соседства: $(d_a) < l = 2 \cdot a \cdot \sin(\pi/n_w)$, где a – межосевое расстояние между солнечным колесом и сателлитом, n_w – число сателлитов.

$$a = \frac{(d_a + d_b)}{2} = m\frac{(z_a + z_b)}{2} = 0{,}3\frac{(13+53)}{2} = 9{,}9;$$

$$l = 2 \cdot a \cdot \sin(\pi/n_w) = 2 \cdot a \cdot \sin(60°) = 17{,}2.$$

$$(d_a) = 0{,}3 \cdot \frac{13}{2} = 1{,}95 < l = 17{,}2.$$

3.Условие сборки: $\frac{(z_a+z_b)}{n_w} = \frac{(13+20)}{3} = 11.$ 11-целое число, условие выполняется.

Выполнение всех трёх условий обеспечивает возможность сборки.

Из расчёта на прочность (не приводится) были выбраны следующие материалы для всех трёх ступеней: для солнечных колес и сателлитов Сталь 40Х с закалкой и отпуском; для опорного колеса Сталь 40Х с улучшением. Модуль всех колёс в передаче равен 0,3 мм.

Конструкция привода.

В пакете «SolidWorks» была сконструирована следующая модель привода, который обеспечивает заданную угловую скорость и момент, а также длину чуть меньше 60 мм и диаметр 19 мм:

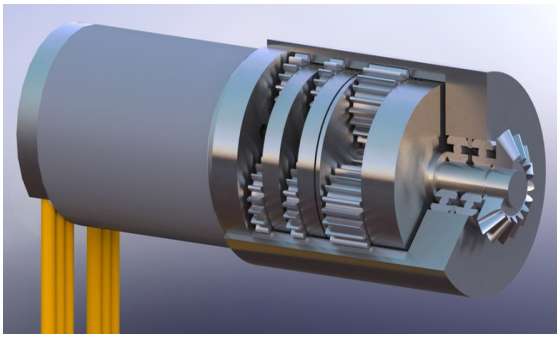


Рис. 5. Конструкция привода

Заключение

В ходе выполнения работы были определены сила и скорость сгибания пальца в проксимальном межфаланговом суставе. На основании этих параметров, а также габаритов были сформулированы требования к приводу. Далее был проведён расчёт и спроектирован привод, который обеспечивает заданное движение и обладает габаритами, соизмеримыми с размерами пальца человеческой руки. Таким образом, разработка пальца антропоморфного схвата, почти не уступающего по габаритам, силе и скорости движения пальцу человеческой руки является реализуемой.

Список литературы

1. Кудрявцев В.Н., Кирдяшев Ю.Н., Гинзбург Е.Г., Державец Ю.А., Иванов А.Н., Кисточкин Е.С., Кузьмин И.С., Филипенков А.Л. Планетарные передачи: справочник / под ред. В.Н. Кудрявцева, Ю.Н. Кирдяшева. Л.: Машиностроение, 1977. 534 с.
2. Кокорев Ю.А., Жаров В.А., Торгов А.М. Расчет электромеханического привода: учебное пособие / под ред. В.Н. Баранова. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1995. 132 с.
3. Огородник А.И. Особенности построения цифрового токового контура мехатронной системы // Молодежный научно-технический вестник. Электрон. журн. 2013. № 3. Режим доступа: http://sntbul.bmstu.ru/doc/563820.html (дата обращения 20.05.2015).
4. Новости медицины и здоровья - медицинские новости за сегодня. http://www.mednovosti.org.ua/obsled/Sustavy-verhnih-konechnostei (дата обращения 04.05.2015).