

# 11, ноябрь 2015

УДК 681.587.72

## Разработка конструкции электромеханического модуля отведения указательного пальца антропоморфного схвата в пястно-фаланговом суставе

*Мокаева А.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](mailto:kafsm7@sm.bmstu.ru)*

**Введение.** Задача разработки антропоморфных схватов является наиболее актуальной, когда речь идет о дистанционном выполнении особо точных операций, требующих ловкости рук человека, или эндопротезировании. Во втором случае особо важны мощностные и габаритные характеристики устройства.

Для разработки конструкции антропоморфного схвата может использоваться кинематическая схема, представленная на рис. 1. Путем введения в конструкцию схвата приводов приведения-отведения пальцев (см. рис. 1.) мы можем реализовывать как ладонные захваты, так и пальцевые, в частности так называемый «панорамный» пятипальцевый захват, что позволяет брать крупные плоские предметы [1-2].

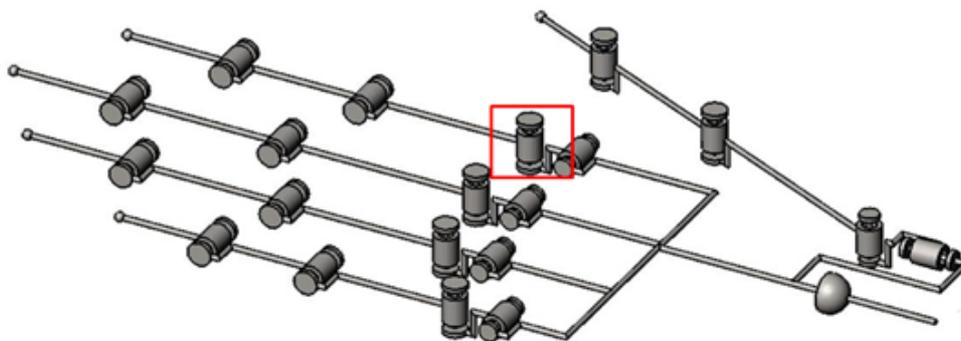


Рис. 1. Кинематическая схема антропоморфного схвата

Целью данной работы является разработка привода, осуществляющего приведение-отведение указательного пальца в пястно-фаланговом суставе.

**Разработка привода приведения-отведения.** В ходе разработки антропоморфного схвата были сформированы требования на выполнение привода приведения-отведения (таблица 1).

*Таблица 1*

Требования к разрабатываемой конструкции

Наименование параметра	Значение
Диапазон рабочих углов, град	$\pm 15$
Максимальная скорость, рад/с	1,75
Рабочий момент, Н*м	0,2
Импульсный момент, Н*м	0.23

Размеры устройства должны быть максимально приближены к размерам среднестатистической человеческой кисти, что накладывает на привод жесткие ограничения по габаритам. Анализ различных видов передач показал, что недостатками использования цилиндрических зубчатых и червячных передач являются нетехнологичность и сложность изготовления корпусной детали и сложности при последующей сборке.

Исходя из этого, целесообразным было использование планетарной передачи [3]. Редуктор (рис. 2-3) представляет собой три идентичных планетарных ряда (схема А) с тремя сателлитами.

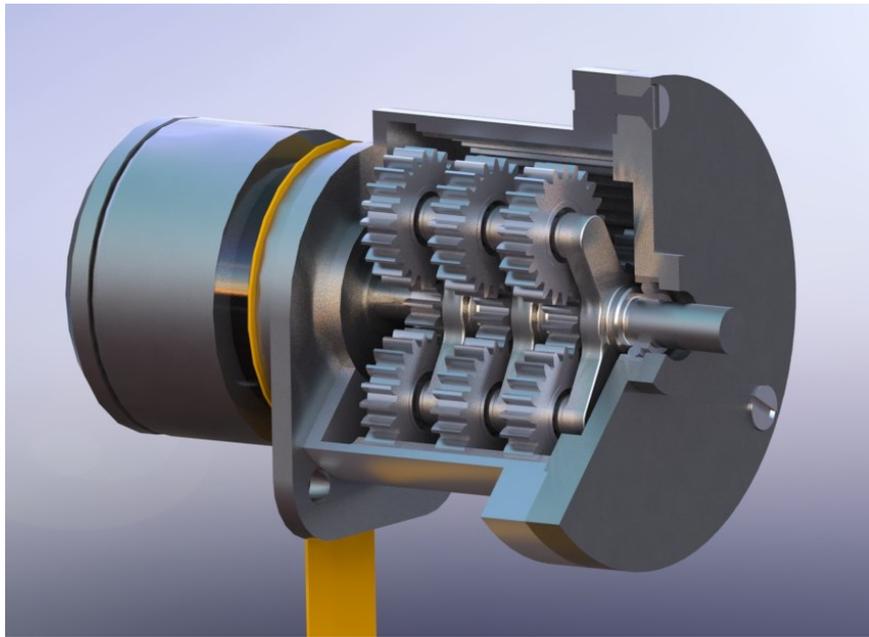


Рис. 2. 3D-модель привода приведения-отведения указательного пальца в пястно-фаланговом суставе

Выбор двигателя по потребляемой мощности определяется по следующим зависимостям [3, с. 6]:

$$P_{\text{дв}} \geq (P_{\text{дв}})_p,$$

где

$P_{\text{дв}}$  - паспортное значение номинальной мощности двигателя;

$(P_{\text{дв}})_p$  - расчетное значение мощности двигателя.

$$(P_{\text{дв}})_p = \xi \cdot \frac{P_n}{\eta_0},$$

где

$\xi = 1.1$  - коэффициент запаса для исполнительных приводов;

$\eta_0 = 0,8$  - КПД цепи двигатель-нагрузка.

$$P_n = M_n \cdot \omega_n$$

$$\omega_n = 4 \frac{1}{c}$$

$$P_n = M_n \cdot \omega_n = 0.2 \cdot 1.75 = 0.35 \text{ Вт}$$

$$(P_{\text{дв}})_p = \xi \cdot \frac{P_n}{\eta_0} = 1.1 \cdot \frac{0.35}{0,8} = 0.4 \text{ Вт}$$

В качестве двигателя выбран маломощный высокооборотный бесколлекторный двигатель постоянного тока Maxon Motor EC 14flat339252. Преимуществами данного двигателя является малый вес и габариты.

Он имеет малый момент инерции ротора, высокое значение пускового момента, требуемую температуру эксплуатации, и подходящий ресурс работы.

$$P_{дв} \geq (P_{дв})_p$$

$$1.5 \text{ Вт} > 1.3 \text{ Вт.}$$

Таблица 2

Паспортные данные двигателя

	EC 14 flat 33925204
U, В - рабочее напряжение	12
n, об/мин - выходная частота вращения	9680
M <sub>НОМ</sub> , Н·мм – номинальный момент	1.83
M <sub>П</sub> , Н·мм – пусковой момент	3.87
J, кг·см <sup>2</sup> - момент инерции ротора	0,0011
M, кг – масса	0,008

В конструкции привода применена планетарная передача типа  $A_{ha}^b$  с прямозубыми цилиндрическими колесами, т.к. они проще в изготовлении, имеют низкую себестоимость, высокие КПД, а также по тому, что по условию нагрузки относительно малы.

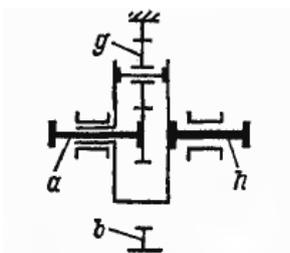


Рис. 2. Схема планетарной передачи типа  $A_{ha}^b$

Расчет чисел зубьев:

$$i_0 = 136 = 1 + \frac{z_b}{z_a},$$

где

$z_b$  - число зубьев внешнего колеса;

$z_a$  - число зубьев солнечной шестерни;

$z_g$  - число зубьев сателлита.

$$z_a = 14$$

$$z_b = 58$$

$$z_g = 0.5 * (z_b - z_a)$$

$$z_g = 22$$

Условие соосности:

$$z_a + z_g = z_b + z_g$$

$$22 + 14 = 58 - 22$$

Условие собираемости:

$$\frac{z_a + z_b}{n_w} = \gamma$$

$$\frac{58 + 14}{3} = 24 - \text{целое число, условие выполняется.}$$

Погрешность разбиения общего передаточного отношения:

$$\varepsilon = \frac{i_{\text{общ}} - i_0}{i_{\text{общ}}} = 1,47\%.$$

Передаточное отношение получилось выше ориентировочного, что допустимо, так как момент на выходном валу важнее скорости его вращения.

Таким образом, передаточное число каждой ступени  $i=5,14$ . Незначительные нагрузки позволяют использовать мелко модульные передачи, что прямо ведет к уменьшению габаритов.

На рис. 3. представлен фрагмент чертежа общего вида. Планетарные ряды сопрягаются посредством осевых шариковых опор. Использование подшипников качения в качестве опор сателлитов увеличивает общий КПД всего механизма.

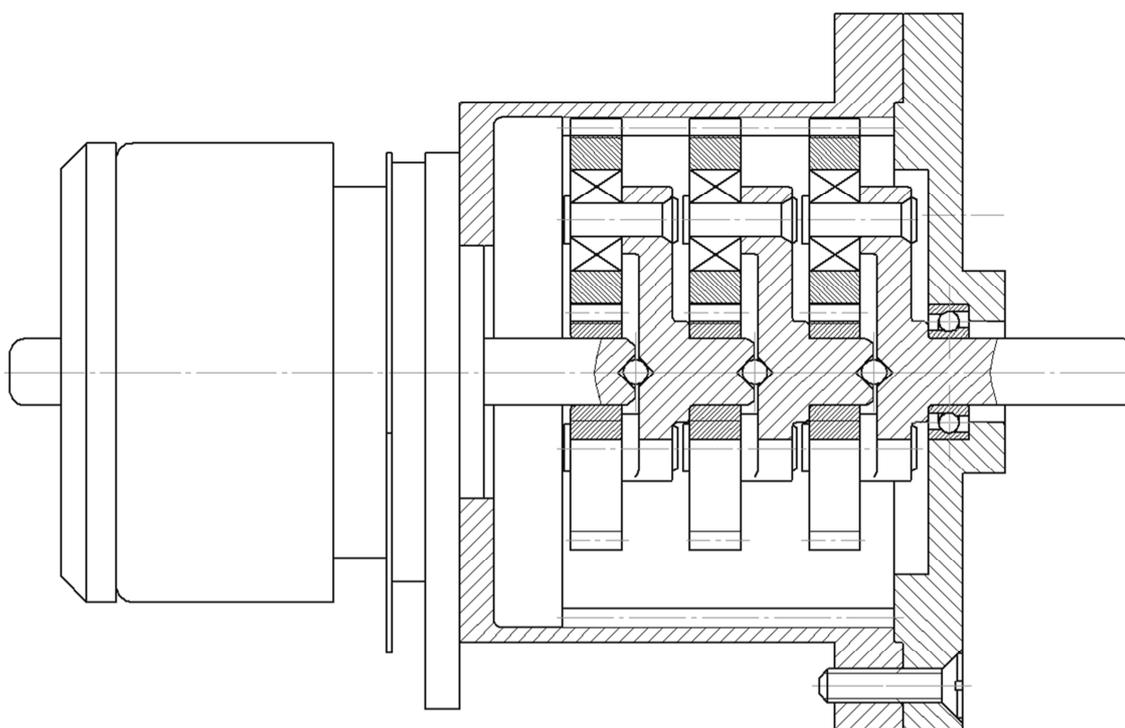


Рис. 3. Фрагмент чертежа общего вида

Водило представляет собой щеку, выполняемую для уменьшения габаритов зацело с выходным валом, и пальцы. Такое разбиение необходимо для повышения технологичности изготовления. Пальцы служат валами для сателлитов, развальцовываются со стороны щеки, чтобы избежать смещения внутренних колец подшипников. Так как все три ступени идентичны, большое солнечное колесо выполнено в качестве корпусной детали. Привод крепится в схват на хомутах, поэтому отверстий под крепеж на корпусе не предусмотрено.

Технические характеристики разработанного привода представлены в таблице 3. Для сравнения был взят редуктор Planetary Gearhead GP 22A компании Maxon Motor.

Технические характеристики разработанного привода

Параметр	Привод	Аналог
Момент на выходном валу, (Н*м)	0,24	0.31max
Общее передаточное отношение	134	231
Число ступеней	3	3
Кпд, %	87	75
Внешний диаметр, мм	16	16
Длина, мм	14	25.7

Как видно из таблицы, разработанный редуктор соответствует заявленным требованиям и обладает меньшими габаритами, чем ближайший аналог.

**Заключение.** В результате проделанной работы было получено следующее:

1. исходя из габаритов и мощностных характеристик руки человека был выбран двигатель и разработан трехступенчатый планетарный редуктор;
2. проведены проектировочные и проверочные расчеты;
3. разработан пакет конструкторской документации для изготовления привода [6-7].

Модуль может использоваться в перспективных антропоморфных захватах, идентичных по функционалу руке человека.

#### Список литературы

1. Накано Э. Введение в робототехнику. М.: Мир, 1988. 334 с.
2. Капанджи А.И. Верхняя конечность. Физиология суставов. М.: Эксмо, 2009. 368 с.
3. Кудрявцев В.Н., Кирдяшев Ю.Н. Планетарные передачи. Справочник. Л.: Машиностроение, 1977. 536 с.
4. 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.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 78 с.: ил.
5. Потапцев И.С., Буцев А.А., Еремеев А.И. Разработка конструкторской документации при курсовом проектировании: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 2. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 80 с.: ил.