

5. Спиваковский, А. О. Транспортирующие машины: Учеб. пособие для машиностроительных вузов/ А. О Спиваковский, В. К. Дьяков. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.: ил.

## **АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИСТЕРЕЗИСНЫХ МУФТ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ**

Савельева М.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Запорные арматуры (ЗА) используются для перекрытия участков трубопровода. В частности, запорные арматуры устанавливаются в магистральных нефтепроводах через каждые 15–20 км. Очень часто, ЗА оснащается электроприводом (ЭП), важнейшими компонентами которого являются асинхронный двигатель и редуктор (червячный либо волновой) [1].

Электропривод ЗА должен обеспечивать срыв затвора из состояния покоя и его герметизацию в конце хода, иметь возможность дистанционного управления, соответствовать нормам взрывобезопасности и климатического исполнения. Т.к. чаще всего в качестве ЗА используется клиновое задвижка [2], то герметичность системы в первую очередь зависит от износа клина. Для увеличения его срока службы необходимо, чтобы усилие в конце хода обеспечивало надёжный контакт, но не пережимало клин.

Решить данную проблему можно несколькими способами:

- с помощью преобразователя частоты в составе ЭП, который позволит точно контролировать усилие развиваемое двигателем на всех этапах работы задвижки. Однако такой вариант является достаточно дорогостоящим для повсеместного внедрения;

- заменой асинхронного двигателя синхронно-гистерезисным двигателем, управление которым будет производиться с помощью ШИМ [3], что также является дорогостоящим вариантом;

- внедрением в состав ЭП гистерезисной муфты.

Гистерезисная муфта относится к классу синхронных магнитных муфт и служит для бесконтактной передачи механического момента с ведущего вала на ведомый. К достоинствам гистерезисной муфты, важным для работы в составе ЭП ЗА можно отнести:

- наличие собственного пускового момента, который позволит обеспечить срыв затвора из состояния покоя;

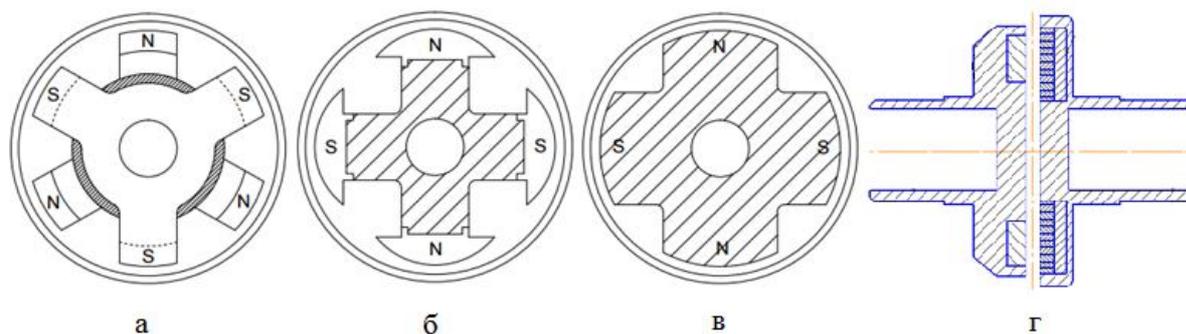
- установка максимального передаваемого момента, позволяющего исключить пережимание клина в конце хода;

- возможность внедрения муфты в состав ЭП, незначительно усложняя его конструкцию;

- соответствие условиям взрывобезопасности и низкая притязательность к перепаду температур [4].

К недостаткам, которые можно выделить у гистерезисных муфт, можно отнести использование сложных в изготовлении магнитотвёрдых материалов, а также собственные особенности функционирования различных конструкций, описанные ниже.

Основные конструкции гистерезисных муфт представлены на рис. 1.



**Рис. 1.** Гистерезисная муфта а) с когтеобразным индуктором; б) с радиально расположенными магнитами и полюсным наконечником; в) с индуктором типа «звёздочка» ; г) с торцевым намагничением

Когтеобразный индуктор (рисунок 1, а) состоит из цилиндрического постоянного магнита, к торцам которого примыкают шайбы из магнитомягкой стали, имеющие когтеобразные выступы. Главным достоинством индуктора является то, что постоянный магнит защищён магнитомягкими элементами от внешних полей, а его первоначальное намагничивание осуществляется в собранном виде внешним однородным полем. Поэтому степень использования магнита высока и рабочая индукция составляет 0,6–0,7 Тл. Кроме того, магнит имеет простую форму и расположен вблизи центра индуктора, что позволяет реализовать окружные скорости индуктора до 80–100 м/с, поскольку наружные магнитомягкие элементы обладают достаточной механической прочностью. Поэтому мощность машин с когтеобразным индуктором может достигать **10 – 20 кВт·А** [5].

Индуктор гистерезисной муфты с радиально-расположенными магнитами и полюсными наконечниками (рисунок 1, б) обладает средним значением рабочей индукции среди представленных конструкций, но имеет худший коэффициент заполнения магнитом и более сложную конструкцию по сравнению с индуктором типа «звёздочка».

Типичная конструкция звездообразного индуктора (рисунок 1, в) содержит литой постоянный магнит в форме звёздочки, который крепится на валу с помощью заливки немагнитным сплавом (на основе цинка или алюминия). Достоинства индуктора – простота и высокая степень заполнения его объёма магнитом. К серьёзным недостаткам можно отнести низкую механическую прочность из-за хрупкости магнитотвёрдых сплавов и остаточных механических напряжений при отливке. Максимально допустимые окружные скорости индуктора составляют 40–50 м/с, а рабочие индукции не превышают 0,2–0,4 Тл, вследствие чего индуктор-звёздочка применяют обычно при относительно малых мощностях машины (до ).

Гистерезисная муфта с аксиальным (осевым) воздушным зазором (рисунок 1, г) и торцевым намагничением представляет собой переменнопольный индуктор когтеобразного типа на ведущем валу. Ведомая часть муфты содержит гистерезисный слой, который выполняется литым или шихтованным и заключен в арматуру из магнитомягкого или немагнитного материала и может выполняться также вообще без арматуры.

Потери энергии в магнитно-гистерезисных муфтах в режиме синхронной передачи невелики, поскольку они определяются потерями трения в подшипниках, трения о воздух и потерями от вихревых токов в немагнитной электропроводящей перегородке.

При этом КПД магнитно-гистерезисной муфты весьма высок и приближается к единице.

Оценка оптимальности конструкции магнитно-гистерезисных муфт с точки зрения энергетических характеристик имеет второстепенное значение, так как потери энергии в ней невелики.

В муфтах с радиальным воздушным зазором нарушение соосности за счёт технологических погрешностей изготовления приводит к неравномерному воздушному зазору, что неблагоприятно сказывается на характеристиках муфты и создает радиальные усилия на подшипники за счёт нарушения магнитной симметрии. В муфтах с аксиальным воздушным зазором нарушение соосности в меньшей степени сказывается на неравномерности зазора и характеристиках муфты, поэтому технология изготовления муфт с радиальным воздушным зазором требует большей точности, чем для муфт с аксиальным воздушным зазором.

В муфтах с радиальным воздушным зазором представляется возможным разработать серию муфт с различной величиной гистерезисного момента на базе одного внешнего диаметра с одной и той же геометрией активных частей. В муфтах с аксиальным воздушным зазором эти возможности ограничены, так как их оптимальная аксиальная длина функционально связана с наружным диаметром.

При больших значениях необходимого гистерезисного момента муфта с радиальным воздушным зазором становится более рациональной, чем муфта с аксиальным воздушным зазором, так как первая позволяет получить необходимую величину гистерезисного момента за счёт увеличения осевой длины, без увеличения наружного диаметра. При равномерном воздушном зазоре в муфтах с радиальным зазором отсутствуют радиальные силы одностороннего магнитного притяжения и осевые силы. В муфтах с аксиальным воздушным зазором возникают силы осевого магнитного притяжения, действующие на подшипники, обратно пропорциональные величине воздушного зазора [6].

Исходя из номенклатуры двигателей, применяемых в составе ЭП и на основе материалов ЮНДК35Т5АА и Fe-Cr-Co были рассчитаны размеры гистерезисных муфт, необходимые для передачи заданной величины момента. По полученным данным были построены таблицы 1 и 2.

**Таблица 1. Габаритные размеры гистерезисных муфт**

Характеристики двигателя			Характеристики муфт							
Р	М	D <sub>вн.д.</sub>	D <sub>н.г.</sub>	V <sub>г</sub>	С радиальным зазором			С аксиальным зазором		
					D <sub>вн.г.</sub>	l <sub>г</sub>	λ	D <sub>вн.г.</sub>	Δ <sub>г</sub>	Δ <sub>г</sub> *
мощность	момент	внутр. диаметр двиг-ля	наружный диаметр гист.слоя	объём гист. слоя	внутр. диаметр гист.слоя	длина индуктора	констр. коэфф		толщина гист. слоя	опт.толщина гист. слоя
кВт	Нм	см	см	см <sup>3</sup>	см	см		см	см	
0,55	0,4	20	18	23,26	17,5	5,46	0,27	6,30	0,109	0,01
1,5	1	20	18	58,15	17,5	13,65	0,68	6,30	0,271	0,02
2,5	1,7	25	22,5	98,85	22	18,51	0,74	7,88	0,295	0,01
4	2,7	25	22,5	157,00	22	29,40	1,18	7,88	0,469	0,02
7,5	5	35	31,5	290,74	31	38,77	1,11	11,03	0,443	0,01
11	7,3	35	31,5	424,48	31	56,60	1,62	11,03	0,647	0,02
18,5	12,3	35	31,5	715,22	31	95,36	2,72	11,03	1,09	0,03
30	20	40	36	1162,96	35,5	135,54	3,39	12,60	1,357	0,04
45	30	45	40,5	1744,44	40	180,58	4,01	14,18	1,608	0,04

**Таблица 2. Значения моментов для различных гистерезисных муфт**

Муфта с аксиальным зазором				Индуктор типа "звёздочка"				Индуктор с полюсными наконечниками			Когтеобразный индуктор		
D, см	$\lambda$	$\sigma_{\text{МГ,М}}^{-3}_{10}$	M <sub>Г</sub> , Нм	D, см	$\lambda$	$\sigma_{\text{МГ,М}}^{-3}_{10}$	M <sub>Г</sub> , Нм	$\lambda$	$\sigma_{\text{МГ,М}}^{-3}_{10}$	M <sub>Г</sub> , Нм	$\lambda$	$\sigma_{\text{МГ,М}}^{-3}_{10}$	M <sub>Г</sub> , Нм
внешний диаметр муфты	констр. коэф	коэф. исп. активных материалов	гистерезисный момент										
18	0,5	1,34	3,91	17,5	–	1,5		–	1		–	0,63	
18	0,5	1,34	3,91	17,5	0,76	1,5	6,1	0,76	1	4,1	0,76	0,63	2,56
22,5	0,5	1,34	7,63	22,0	0,82	1,5	13,1	0,82	1	8,7	0,82	0,63	5,51
22,5	0,5	1,34	7,63	22,0	1,31	1,5	20,8	1,31	1	13,9	–		
31,5	0,5	1,34	20,9	31,0	1,23	1,5	54,9	1,23	1	36,6	–		
31,5	0,5	1,34	20,9	31,0	1,80	1,5	80,2	1,80	1	53,5	–		
31,5	0,5	1,34	20,9	31,0	–	1,5		–	1		–		
36	0,5	1,34	31,3	35,5	–	1,5		–	1		–		
40,5	0,5	1,34	44,5	40,0	–	1,5		–	1		–		

По приведённым данным можно сделать вывод что по предварительной оценке гистерезисные муфты с аксиальным воздушным зазором являются более перспективными для использования в ЭП ЗА, так как они отвечают всем заданным требованиям к муфте в целом, способны работать во всём диапазоне моментов, а также незначительно повлияют на габариты ЭП в отличии от муфт с радиальным намагничением. В целом, благодаря своей простоте и относительно невысокой стоимости применяемых материалов можно говорить о возможном применении гистерезисных муфт и в других отраслях, где на данный момент применяются асинхронные двигатели с прямым пуском.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Севастьянихин Г. И., Задвижки: конструкции, новые разработки. Выбор в зависимости от условий и параметров эксплуатации // Наука и конструирование, 2006, №5, с. 40–45
2. Гарганеев А.Г., Каракулов А.С., Ландграф С.В.. Электропривод запорной арматуры: монография / Томский Политехнический Университет. – Изд-во Томского Политехнического Университета, 2012. – 157 с.
3. Гарганеев А.Г., Падалко Д.А., Черватюк А.В. Перспективы развития мехатронных систем // Доклады ТУСУРа, 2014, №2 (32), с. 308–314.
4. Руководство по эксплуатации Электропривод взрывозащищённый с двусторонней муфтой ограничения крутящего момента для запорной арматуры Ду 500-1200б Ру 8,0-15,0:// ТОМЗЭЛ. – Томск, 2013.-34 с.
5. Бут В.А. Бесконтактные электрические машины: Учеб. Пособие для электромех. и электроэнерг. спец. ВУЗов. – М.: Высшая школа., 1990. 416 с.: ил.
6. Мизюрин С.Р., Ермилов М.А.. Проектирование магнитно-гистерезисных муфт. – М.: Ротапринт МАИ, 1966. – 123 с.