

The paper presents principles of the choice of gearbox as the power module of electric drive of pipeline valve. The following principle stages of the gearbox choice are described: the choice of gear type, dimensions, gear ratio of the gearbox, types of its mounting to valve, possible design versions. The examples of rational application of spiroid gearboxes as the mentioned power module of the electric drive are also given.

К выбору редукторного модуля электропривода трубопроводной арматуры

В.И. Гольдфарб, д.т.н., проф., Е.С. Трубачев, д.т.н., А.С. Кузнецов, к.т.н., ООО «Механик», Ижевск

Выбор структуры и типа электропривода для управления трубопроводной арматурой является непростой проблемой, имеющей в первую очередь технико-экономическое значение. Поэтому ее решение должно строиться на строго обоснованной, профессиональной основе.

Не затрагивая вопроса выбора собственно электропривода, многовариантность которого определяется уже достаточно большим количеством предложений электроприводов, отличающихся возможностями, качеством, конструктивными исполнениями, ценой и другими показателями, авторы остановятся в данной статье на достаточно частном моменте, имеющем во многих случаях принципиальное значение с точки зрения как раз технико-экономических показателей, а именно – каким образом рациональнее строить структуру «электропривод-редуктор-арматура».

Известно, что стоимость электропривода определяется его габаритными размерами, приводящим его в движение электродвигателем, которые в свою очередь зависят от вращающего момента $T_{арм}$ на входном звене арматуры. При значениях $T_{арм} < 250...500$ Нм в упомянутой выше структуре редуктор является, как правило, лишним звеном, поскольку минимальные возможности многих электроприводов оказываются достаточными для преодоления таких нагрузочных моментов. В этом случае редуктор может понадобиться как звено, позволяющее решить некоторые задачи компоновки или защиты, например, от вибрационных нагрузок, возникающих на самой арматуре. Возможны и другие технические потребности применения редуктора как промежуточного звена между арматурой и электроприводом.

При значениях $T_{арм} > 250...500$ Нм потребность в редукторе, как силовом модуле привода в целом, становится очевидной, причем чем больше $T_{арм}$, тем эта потребность острее, переходя при больших $T_{арм}$ ($T_{арм} > 2500...3000$ Нм) в необходимость.

Приведем причины, по которым использование отдельного редуктора в качестве силового модуля привода является предпочтительным:

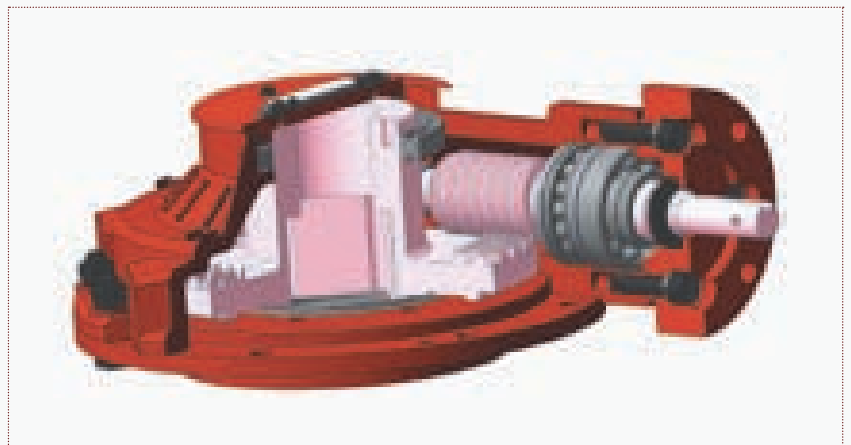
- более рационально, с меньшим числом ограничений, неизбежных при сочетании силовой высоконагруженной механической и точной управляющей части

привода в одном корпусе, и более экономно удается компоновать механическую часть привода (обычно массивную и, соответственно, более дорогостоящую для высоконагруженных приводов);

- проще решается задача согласования с арматурой;
- собственно электропривод становится менее габаритным и, соответственно, заметно менее дорогостоящим, поскольку удельная стоимость изготовления редуктора обычно существенно меньше соответствующих затрат на увеличение мощности и габаритов электропривода.

Алгоритм выбора редуктора силового модуля предполагает выполнение следующих этапов [1]:

- выбор типа редуктора (передачи);
- выбор размеров редуктора;
- выбор передаточного отношения и числа ступеней редуктора;
- выбор редуктора по необходимому виду присоединения к арматуре и электроприводу;
- выбор опций редуктора.



Спиroidный редуктор привода ТПА

При выборе типа передачи следует исходить из соображений достижения высоких эксплуатационных показателей (надежность, долговечность, безопасность) редуктора при приемлемых экономических и организационных (надежность поставки) соображениях.

Мировая и отечественная практика показывает, что более чем в 90% случаев в силовой ступени привода применяются передачи типа червячных, среди которых на-



илучшим решением для условий работы арматуры являются спироидные передачи [2, 3, 4].

Специальным требованием, которое приходится учитывать при выборе типа передачи, является необходимость обеспечения самоторможения, исключаящего возможность самопроизвольного (без управляющего воздействия от привода) перемещения запорного органа арматуры. С этой точки зрения также предпочтительны (а в ряде случаев являются единственным решением) передачи типа червячных.

При **выборе размеров редуктора** решающее значение имеет нагрузочный момент $T_{арм}$ на его выходном валу, необходимый для управления арматурой. Особенностью, отличающей проектирование нового или выбор готового редуктора именно для запорной и запорно-регулирующей арматуры, является то, что во внимание необходимо принимать не только сравнительно длительно действующий момент, но и кратковременный перегрузочный момент, возникающий в моменты «срыва» запирающего органа арматуры или «дожатия» последнего. Высокую надежность привода при таких условиях работы обеспечивают редукторы, которые обладают повышенной стойкостью к воздействию подобных кратковременных перегрузок, например, спироидные редукторы благодаря высокому коэффициенту перекрытия и другим достоинствам геометрии спироидной передачи.

Выбор передаточного отношения U зависит от соотношения крутящих моментов на штоке арматуры $T_{арм}$ и на выходном валу электропривода T_3 :

$$U = T_{арм} / (\eta_p T_3),$$

где η_p – КПД редуктора, который предварительно может быть задан по известным рекомендациям, с учетом, однако, низкоскоростного режима работы редукторов. Этот учет должен выражаться, например, в правильном задании коэффициента трения в передаче (и иных парах трения, имеющих в редукторе), который при низких скоростях скольжения обычно не превышает 0,1.

Необходимое передаточное отношение U во многом определяет тип применяемого редуктора. Так, для небольших значений $T_{арм} < 600...800$ Нм и $U = 3...6$ находят применение одноступенчатые конические, цилиндрические и в редких случаях гипоидные редукторы. Использование последних, как правило, не рационально вследствие сложностей изготовления передач (для этого требуются специальное оборудование и оснастка со сложной системой расчета и настройки наладочных параметров) и повышенной чувствительности передачи к погрешностям осевого положения шестерни. Не менее чем в 60% случаев при указанных $T_{арм}$ применяют передачи типа червячных (червячные цилиндрические, спироидные), диапазон предпочтительных передаточных чисел у которых весьма широк для одной пары – от 8 до 80. При этом удается заметно уменьшить значение T_3 и, следовательно, уменьшить размеры электропривода, компенсировав некоторое увеличение времени открытия/закрытия арматуры. При значениях $T_{арм} > 1000$ Нм и $U > 10$ в подавляющем большинстве случаев (более чем в 90% случаев) применяются передачи типа червячных [3] в одноступенчатом исполнении при U до 80...100 и в двухступенчатом испол-

нении при больших значениях U (например, при $T_{арм} = 10000...12000$ Нм необходимое значение $U = 150...200$ реализуется только с помощью двухступенчатой передачи).

Задача выбора передаточного отношения вовсе не является строго предопределенной. Вариации в решении связаны с применением различных типоразмеров приводов. Соображение самого общего плана здесь такое: многоступенчатые редукторы являются несколько более габаритными и дорогими, чем одноступенчатые, но благодаря большему передаточному отношению обычно позволяют ограничиться электроприводом меньшего размера. Нужно иметь в виду при этом, что для получения сравнительно небольшого времени оперирования арматурой в случае применения многоступенчатых редукторов часто приходится применять электроприводы с высокими скоростями вращения выходного вала.

Другими факторами, учитываемыми при выборе U , являются:

- соотношение необходимого времени закрытия/открытия арматуры и скорости вращения выходного вала электропривода;
- производственная конъюнктура – удобство и возможность реализации различных передаточных отношений без изменения конструкции и размеров редуктора и без трудностей технологического характера;
- наличие самоторможения (при необходимости);
- рациональное разбиение общего передаточного отношения по ступеням для многоступенчатых редукторов.

Выбор редуктора по необходимому виду присоединения к арматуре и к электроприводу. В случае, если конструкция редуктора обеспечивает возможность его крепления к арматуре без промежуточных деталей при любом исполнении (по нормам стандартов ISO, DIN, ANSI, отечественных стандартов или других), то это позволяет снизить массу и, соответственно, себестоимость редуктора и арматуры в целом, повысить удобство монтажа и демонтажа, надежность крепления и другие характеристики. Это может быть достигнуто, например, путем модульного исполнения конструкции редуктора, как это сделано, в частности, для спироидных редукторов [1]. Те же производители редукторов, которые не предлагают такой возможности, очевидно, ограничивают свои конкурентные преимущества. В отношении присоединения редуктора к электроприводу, как правило, любые требования могут быть удовлетворены с большей легкостью путем соответствующего исполнения входных вала и фланца редуктора – деталей, которые легко поддаются модификации.

Выбор опций редуктора. К числу таких опций можно отнести:

- ограничение мертвого хода выходного вала редуктора (бывает актуальным для запорно-регулирующей арматуры);
- повышенная степень пыле- и влагозащиты;
- специальные требования к климатическому исполнению;
- повышенная сейсмостойкость, которая обеспечивается учетом динамических нагрузок, действующих на элементы редуктора;

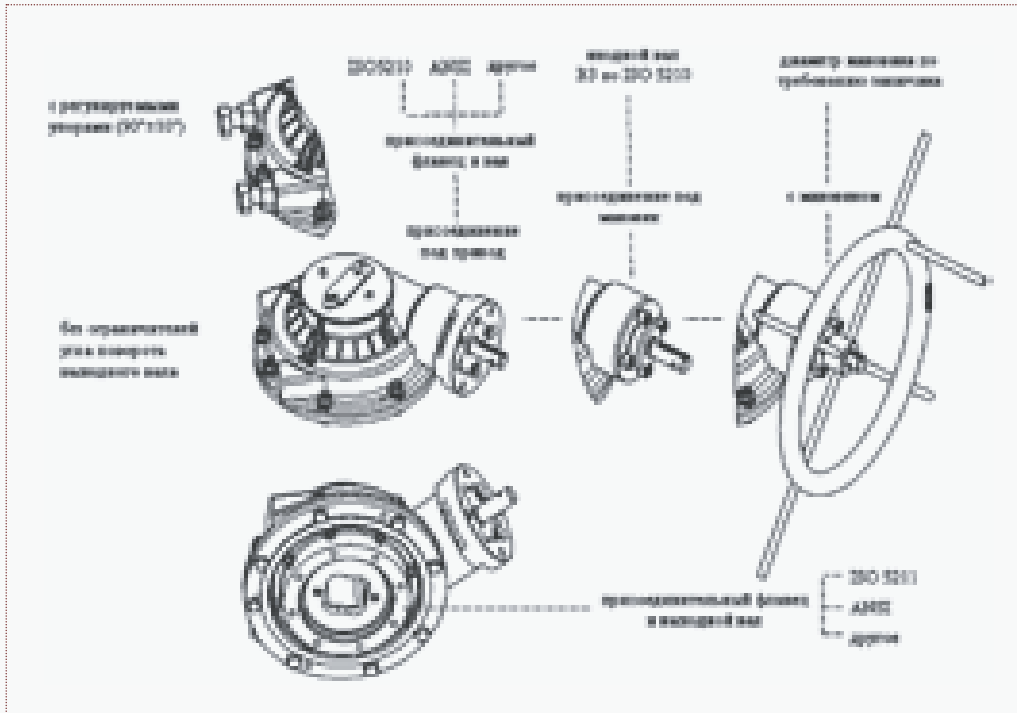


Рис. 1. Варианты исполнений неполноповоротного одноступенчатого спирального редуктора

- наличие указателя положения запорного органа арматуры;
- наличие ограничителей перемещения выходного или выходного вала редуктора;
- наличие защитных кожухов для выступающих или выдвигающихся частей шпинделя арматуры.

В качестве примера, демонстрирующего рациональный выбор редуктора, приведем некоторые результаты и возможности применения спиральных редукторов трубопроводной арматуры, полученные нами в течение последнего десятилетия. Как уже было сказано, объективные свойства зацепления спиральных передач, выгодно отличающие их от зубчатых передач других типов, делают применение названных редукторов наилучшим решением в большинстве практических случаев, обеспечивая снижение массогабаритных характеристик приводов и повышение их важнейших эксплуатационных показателей — нагрузочной и перегрузочной способности, надежности, долговечности, безопасности работы.

и получать, таким образом, варианты одно- и многоступенчатых исполнений, и другими признаками. Указанное разнообразие демонстрируется, в частности, *рис. 1*, на котором схематически показаны возможные варианты конструктивных исполнений неполноповоротного спирального редуктора, просто реализуемые для различных исходных технических требований.

В основу построения типоразмерного ряда этих редукторов положены значения нагрузочных моментов на входном валу. Выбранный диапазон этих значений от 1000 до 32000 Нм (в ближайшей перспективе 65000 Нм) позволяет покрыть потребность в редукторах для достаточно большой номенклатуры арматуры (*см. также www.mechanik.udmnet.ru*).

Основные данные о применимости редукторов можно представить в виде таблиц подбора, фрагмент одной из которых приведен в *табл. 1*. Здесь, как видно, путем выбора скоростных и нагрузочных характеристик привода, с одной стороны, и нагрузочных характеристик и переда-

Редуктор	Одноступенчатые					Двухступенчатые					
	...	РЗА-С-4200			...	...	РЗА-С2-32000				...
Макс. выходной вращающий момент, Нм	...	6000			...	...	32000				...
Передаточное отношение	...	17,5	41	72	...	...	222	327	476	642	...
<i>Макс. выходной вращающий момент с учетом вращающего момента эл. привода, Нм</i>											
Вращающий момент электропривода, Нм	120	...	...	...	...	...	...	...	17140	20030	...
	200	...	3280	4030	...	...	17310	21250	27560	32000	...
	320	...	3080	5250	6000	...	...	27700	32000	32000	32000
<i>Время поворота выходного вала на 90° с учетом частоты вращения эл. привода, с</i>											
Частота вращения выходного вала электропривода, об/мин	10	...	26	62	108	...	...	333	491	714	963
	30	...	9	21	36	...	...	111	164	238	321
	80	...	3	8	14	...	...	42	61	89	120

Таблица 1. К подбору неполноповоротных спиральных редукторов ТПА (фрагмент)

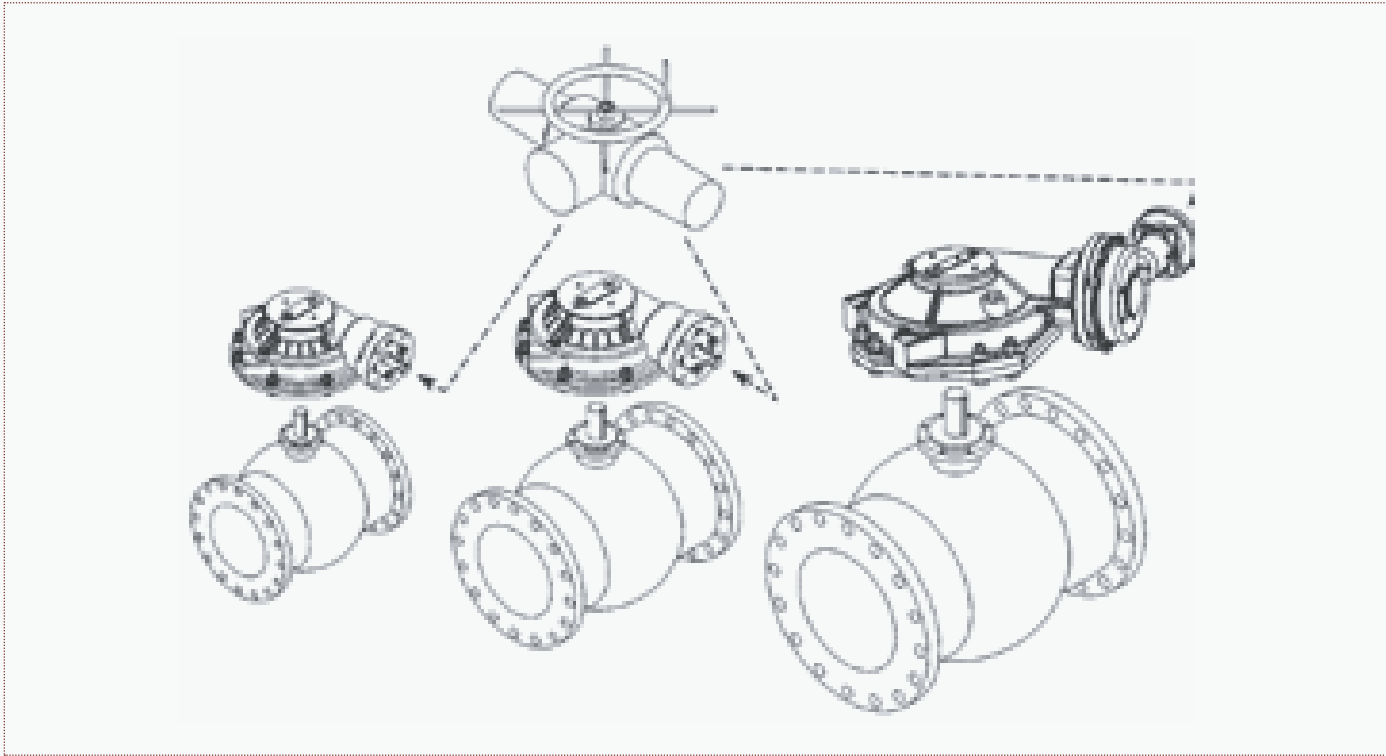


Рис. 2. Унификация применяемых электроприводов для разных типоразмеров арматуры

точного отношения редуктора – с другой, можно выбрать требуемое сочетание вращающего момента на арматуре и времени оперирования ею.

Имеется еще одна, на наш взгляд, интересная альтернатива при выборе редуктора и электропривода, а именно: варьированием параметров применяемого редуктора обеспечить снижение номенклатуры и стои-

мости применяемых электроприводов. Схематично эта альтернатива демонстрируется *рис. 2*, где показано применение электропривода одного и того же типоразмера для управления арматурой различных типоразмеров. *Таблица 2* показывает то, каким образом может быть организован подбор редукторов исходя из последнего требования.

Типоразмер дискового затвора (DN / PN)	500 / 10	450 / 25	900 / 16	750 / 40
Вращающий момент на штоке, Нм	2260	4918	11000	29280
Типоразмер спироидного редуктора	P3A-C-1600	P3A-C-4200	P3A-C2-8200	P3A-C2-32000
Максимальный вращающий момент редуктора, Нм	3000	6000	12000	32000
Передаточное отношение	46	118	171	642
Время оперирования затвором ($n_{эл. прив.} = 80$ об/мин), с	9	22	32	120
Требуемый вращающий момент электропривода, Нм	163	174	152	175

Таблица 2. Пример унификации электропривода для различных типоразмеров арматуры

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.И. Гольдфарб, Е.С. Трубачев. Создание высокоэффективных редукторов приводов трубопроводной арматуры. Материалы I-й Международной конференции «Трубопроводная арматура XXI века», – Курган, 2008, с. 68-76.
 2. В.И. Гольдфарб, В.В. Макаров, В.М. Маслов. Перспективы развития приводной техники для трубопроводной арматуры// Арматуростроение, 2005, №5 – с.43-45.

3. В.И. Гольдфарб, В.В. Макаров. Совершенствование техники приводов для трубопроводной арматуры// Технологии ТЭК, 2005, №4 – с.42-44.
 4. Goldfarb V.I., Trubachev E.S., Makarov V.V. A new generation of drives for pipeline valves// Valve World, 2006, Volume 11, Issue 6, pp.32-36.