

ПОЛНОПОВОРОТНЫЙ ПРИВОД ДЛЯ ШАРОВЫХ КРАНОВ

Ромашин Р.В.

Рассмотрены особенности существующих приводов шаровых кранов. Приведены характерные особенности кулисного механизма. Показан привод фирмы ActraCam с механизмом, заменяющим кулисный, и обеспечивающий поворот на 90°. Представлен новый привод, обеспечивающий поворот на 360°.

В журнале “Газовая промышленность” (№10 1998) опубликована статья “Запорная арматура МГ: состояние, проблемы, пути совершенствования” [1], в которой автор Кутынский Я.М. оценивает существующую запорную арматуру, как нуждающуюся в улучшении отдельных технических показателей. Шаровые краны выходят из строя вследствие износа материала уплотнений седел. И основной причиной этого, является не материал уплотнений, а сама схема работы запорной арматуры.

Автор статьи пишет: “Рассматриваемые краны работают всегда с потоком газа в одном направлении и находятся в закрытом состоянии практически весь срок своей службы под высоким односторонним давлением. Такая специфика условий работы крана, а также строго фиксированный угол поворота пробки-шара на $\pm 90^\circ$ приводит к локальным износам уплотнительных элементов и шаровой поверхности. Рассмотрим подробнее наблюдаемую при этом картину (рис. 1).

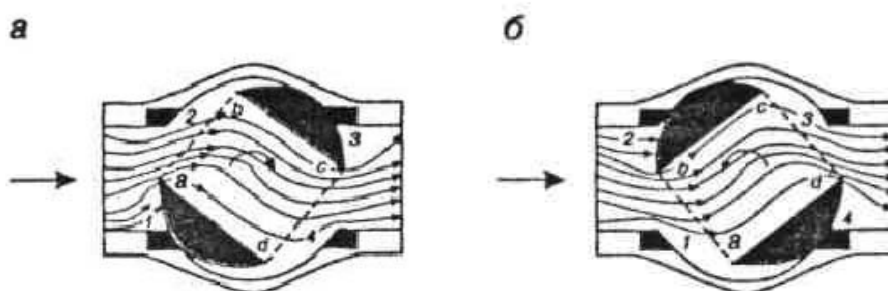


Рисунок 1. Условия работы крана

При закрытии крана поворотом пробки-шара по часовой стрелке (схема *a*) струя газа воздействует на шаровую поверхность *a*, изменяет направление движения, обтекает поверхность участка уплотнительного элемента *2*, а затем элемента *4*. Такая картина будет наблюдаться, пока шар полностью не перекроет проходное сечение и не прекратится движение газа. При открытии крана поворотом пробки-шара на 90° против часовой стрелки будет наблюдаться обратная картина с обтеканием потоком тех же участков. Такое однообразие приводит к эрозионному износу обтекаемых участков, а остальная часть затвора остается без изменений. Нетрудно при этом заметить, что поверхности шара *b*, *c*, *d*, так же как и части уплотнительных элементов *1*, *3*, выполняют только функции сопровождения перестановки пробки - шара и включаются в работу лишь по достижении им конечного положения.

Представляет интерес картина, которая будет наблюдаться при повороте пробки на 360° по часовой стрелке и против (схема *b*). Результаты такого анализа приведены в таблице:

| Серийный кран | | Положение пробки-шара | Полноповоротный кран | | | |
|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Угол поворота, градус | Сочетание работающих участков | | Вращение шара по часовой стрелке | | Вращение шара против часовой стрелки | |
| | | | Угол поворота, градус | Сочетание работающих участков | Угол поворота, градус | Сочетание работающих участков |
| <i>0</i> | | <i>Открыто</i> | <i>0</i> | | <i>0</i> | |
| <i>+ 90</i> | <i>a; 2; 4</i> | <i>Закрyто</i> | <i>+ 90</i> | <i>a; 2; 4</i> | <i>- 90</i> | <i>b; 1; 3</i> |
| <i>- 90</i> | <i>a; 2; 4</i> | <i>Открыто</i> | <i>+ 180</i> | <i>d; 1; 3</i> | <i>- 180</i> | <i>c; 2; 4</i> |
| <i>+ 90</i> | <i>a; 2; 4</i> | <i>Закрyто</i> | <i>+ 270</i> | <i>c; 2; 4</i> | <i>- 270</i> | <i>d; 1; 3</i> |
| <i>- 90</i> | <i>a; 2; 4</i> | <i>Открыто</i> | <i>+ 360</i> | <i>b; 1; 3</i> | <i>- 360</i> | <i>a; 2; 4</i> |
| <i>+ 90</i> | <i>a; 2; 4</i> | <i>Закрyто</i> | <i>+ 450</i> | <i>a; 2; 4</i> | <i>- 450</i> | <i>b; 1; 3</i> |

Из анализа таблицы видно, что за счет изменения характера поворота пробки-шара можно серьезно рассредоточить воздействие струи газа на уплотнительные элементы и поверхность шара и таким образом удлинить срок их полноценной работы.

Частично аналогичную задачу, но другим способом, решила фирма Cameron (США). Она ввела в конструкцию кранов новшество, которое служит повышению герметичности и долговечности затворов. Оно сводится к тому, что уплотнительные кольца имеют зубчатые венцы, в зацепление с которыми при повороте пробки-шара входят храповики, закрепленные на ней (рис. 2) [2].

За счет этого, при каждом повороте пробки-шара, кольца проворачиваются на 15° . Таким образом, обеспечивается дополнительная притирка вкладыша кольца к шару, что улучшает уплотнение и исключает износ в одном месте”.

В итоге автор указывает ряд принципиальных путей совершенствования конструкции свечных шаровых кранов, среди которых хочется отметить идею использования полноповоротной пробки-шара. Шар поворачивается на 360° , в одну сторону, чередуя перекрытие или открытие потока транспортируемой среды за счет остановки через каждые 90° . Совершив, таким образом, полный оборот он продолжает управление течением потока за счет дискретного вращения на четверть оборота в ту же сторону.



Рисунок 2. Кран фирмы Cameron

Для развития этой идеи, совершенно необходимо рассмотреть особенности устройства приводов для шаровых кранов. Ведь именно устройство привода определяет характер работы крана.

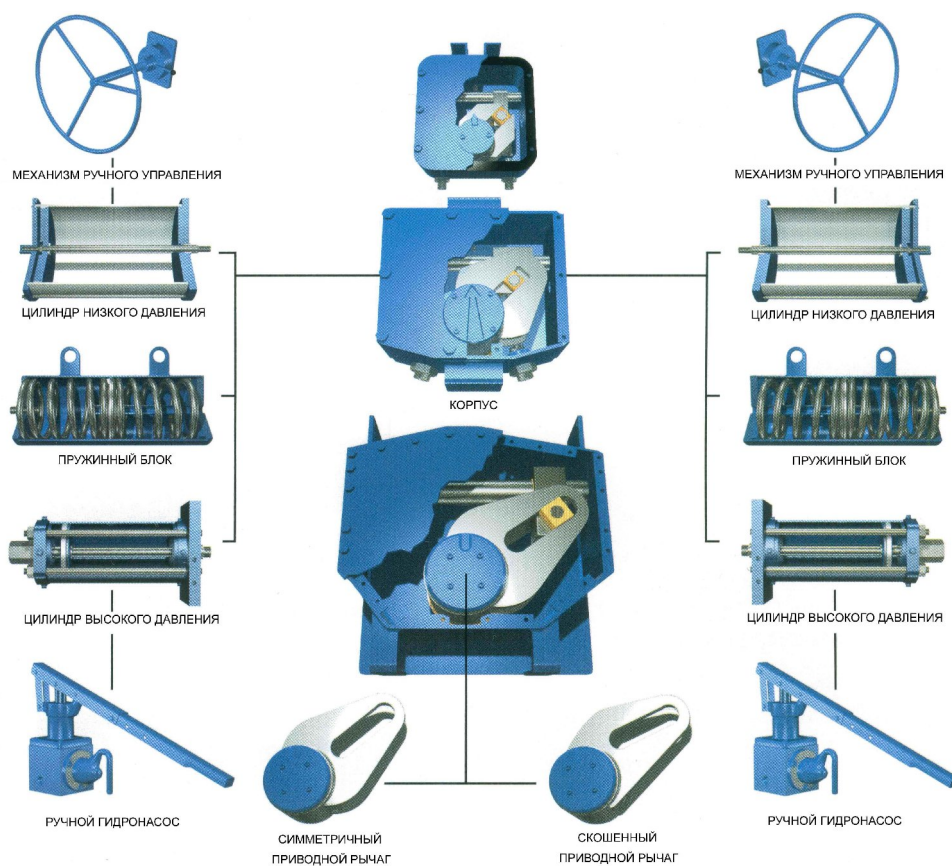


Рисунок 3. Модульная компоновка кулисного механизма

В настоящее время для управления запорной или регулирующей арматуры наиболее широкое применение получили поршневые приводы с пневматическим, гидравлическим, пневмогидравлическим и электрогидравлическим двигателем. В таких устройствах приводов затвор трубопроводной арматуры осуществляет возвратно-поворотное движение на 90° , получаемое от исполнительного силового механизма в виде кулисы вне зависимости от типа двигателя (рис. 3) [3].

Кулисный механизм зарекомендовал себя как наиболее надежный в эксплуатации запорных шаровых кранов, установленных на магистральных газопроводах. Он используется также в приводах с ручным управлением. Этот же силовой механизм применяется в струйном приводе, где в качестве двигателя использована реактивная турбина “сегнерово колесо”, которая через механический редуктор вращает винт, заставляя линейно перемещаться гайку, связанную с ползуном кулисы.

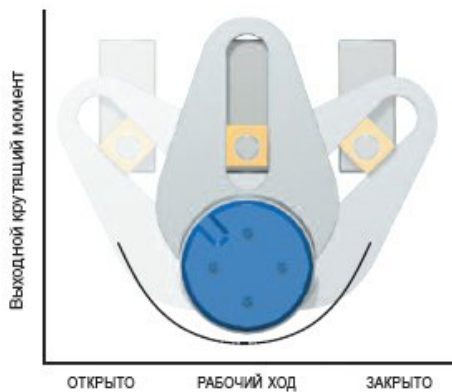
Как показал опыт использования арматуры на газовых объектах, те конструкции приводов, которые имели силовой механизм в виде зубчатой рейки, выполненной на штоке поршня, и зубчатого сектора, закрепленного на шпинделе затвора; приводы с поворотным шибберным (лопастным) силовым механизмом; приводы с эксцентрично установленными относительно оси поворота затвора поворачивающимися цилиндрами – являются неудачными, потому что в отличие от приводов с кулисным механизмом не являются самотормозящими. Применение таких приводов приводит к самопроизвольным перестановкам запорного элемента крана под воздействием динамических усилий от потока среды, воздействующих на шар в промежуточных положениях его открытия. Особенно опасны такие конструкции приводов при открытии кранов больших диаметров (700 - 1400 мм) с применением пневмопривода без демпфирования при наличии перепада давления на шаровом затворе. В результате происходит мгновенная перестановка крана, которая ведет к большому динамическому удару поворотного механизма привода по ограничителям угла поворота затвора, к большому реактивному моменту и сильной высокочастотной вибрации крана вследствие турбулентного течения газа при прохождении через промежуточное положение затвора, и, как следствие, происходит сильное сотрясение крана вместе с газопроводом, а в некоторых случаях и разрушение газопровода с человеческими жертвами [4]. Поэтому при эксплуатации кранов больших диаметров необходимо производить выравнивание давлений с двух сторон крана перед его открытием.

Таким образом, видно, что определяющее значение при эксплуатации шарового крана имеет его привод. И одни и те же шаровые краны, одинаковой конструкции, но с разными приводами будут работать по-разному.

Применение кулисного механизма в конструкции привода также не является идеальным. Во всех случаях кулисный механизм создает переменный крутящий момент в функции времени при постоянной действующей на него силе и неуравновешенную радиальную силу, действующую на выходное звено (рис. 4) [3]. Эта особенность присуща кулисным механизмам.

**ПРИВОДНОЙ РЫЧАГ СИММЕТРИЧНОЙ
КОНСТРУКЦИИ (МОДИФИКАЦИИ
GS, SY, ST)**

- Обычный крутящий момент на выходе
- Одинаковые значения начального и конечного крутящего момента



**ПРИВОДНОЙ РЫЧАГ СКОШЕННОЙ
КОНСТРУКЦИИ (МОДИФИКАЦИИ
MT, NT)**

- Уникальный крутящий момент на выходе
- Максимальные значения начального крутящего момента и крутящего момента закрытия

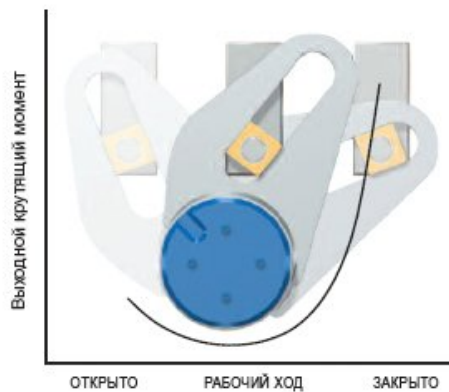


Рисунок 4. Графики зависимости крутящего момента от положения кулисы

Попытку заменить кулисный механизм в своем новом приводе сделала фирма AstraCam (США).

В их приводе (рис. 5) [5] используется неподвижное направляющее звено с винтовыми пазами, имеющими большой угол наклона, по которым, под воздействием перемещающегося поршня, катятся ролики, соединенные через шток со шпинделем шарового крана. Привод обеспечивает возвратно-поворотное движение на 90° . При движении поршня вверх, ролики перемещаются по винтовому пазу, закрывая шаровой кран. При обратном движении вниз – шаровой кран открывается. Винтовая поверхность имеет длину, обеспечивающую поворот шаровой пробки на 90° за один ход поршня. Следовательно, шаг винтового паза, который определяет высоту привода, большой. Фирма AstraCam входит в корпорацию Cameron International, поэтому используется шаровой кран фирмы Cameron (рис. 2), у которого седла поворачиваются, после каждого цикла перестановки крана. Несомненно, применение кинематической пары с винтовой поверхностью, имеющей большой угол подъема, является инновацией для арматуростроения. Хотя такие механизмы, преобразующие возвратно-поступательное движение в возвратно-поворотное движение, известны давно [6].

Они широко используются, например, в зажимных устройствах с неподвижным гидравлическим цилиндром для токарных или револьверных станков [7]. Крутящий момент, развиваемый приводом с такой силовой парой, является равномерным и не создает одностороннее воздействие на выходное звено.



Рисунок 5. Привод фирмы AstraCam

Но вернемся к идее создания полноповоротного крана. Для чего он нужен? Дело в том, что кроме шаровых кранов фирмы Cameron существует множество других, уже находящихся в эксплуатации, и в них седла не поворачиваются. Следовательно, для них проблема рассредоточения воздействия струи газа на уплотнительные элементы, и поверхность шара остается актуальной. И решить ее с помощью существующих в настоящее время приводов нельзя. Но заставить шаровой кран, который поворачивается таким приводом лишь на четверть оборота, поворачиваться на полный оборот можно, но принципиально другим приводом. Для этого нужна новая конструкция привода, который будет называться “полноповоротный привод”. Применение такого привода на уже находящихся в эксплуатации четвертьоборотных кранах позволит превратить их в полнооборотные краны, без их демонтажа из трубопровода.

Рассмотрим устройство и принцип работы привода (заявка на изобретение № 2007131634/11(034473) от 20.08.07), который может обеспечить полный оборот шаровой пробки. В его основе также лежит силовой механизм с большим углом подъема винтовой поверхности. Назовем его свернутым клиновым механизмом. Осевая сила от линейного двигателя, создающая крутящий момент, направлена вдоль оси поворота и приложена к входному звену механизма. Возникающий реактивный момент передается неподвижному корпусу. Требуемый угол поворота выходного звена, связанного с затвором арматуры, достигается за один или несколько ходов подвижного элемента линейного двигателя. Следует отметить, что, безусловно, заявленное изобретение не ограничено одним вариантом конструкции и может приобретать различные модификации, не отступая от сути изобретения.

Рассмотрим более подробно устройство одного из вариантов этого привода (рис. 6). Система управления, элементы крепления, трубопроводы, датчики обратной связи условно на рисунке не показаны.

Привод содержит неподвижное звено 1 клинового механизма, внутри которого может перемещаться подвижный элемент 2 линейного двигателя, являющийся одновременно и входным звеном. Подвижный элемент 2 имеет винтовые пазы 4, задающие закон его движения по направляющим элементам 5, установленным в неподвижном звене 1 механизма. В том же подвижном элементе 2 выполнены пазы 6. Паз 6 сопряжен с промежуточным звеном 7 посредством ползуна 29, установленного в детали 7. Между промежуточным звеном 7 и выходным звеном 11 с помощью неподвижных соединений 12 и 13 установлен механизм одностороннего действия 14, предназначенный для передачи вращающего момента от звена 7 выходному звену 11 только в одном направлении. Таким механизмом может служить, например, односторонняя муфта свободного хода или храповой механизм. Промежуточное звено 7 опирается на сегменты 10, установленные в неподвижном основании 9 привода. Между выходным звеном 11 и неподвижным основанием 9 привода установлен двусторонний нормально-замкнутый управляемый тормоз 17 с помощью неподвижных соединений 18 и 19, для того чтобы гарантировать неподвижность выходного звена 11 в моменты переключения направления движения подвижного элемента 2 и при холостом

ходе. Этот тормоз состоит из наружного кольца 20 с клиновыми пазами 25, связанного неподвижным соединением 18 с основанием 9 привода; из внутреннего кольца 21, связанного неподвижным соединением 19 с выходным звеном 11, ряда роликов 22 и вкладышей 23, расположенных между кольцами 20 и 21, пружин 24, которые могут поджимать ролики 22 и вкладыши 23 в узкую часть клиновых пазов 25 наружного кольца 20. Наружное кольцо 20 имеет отверстия 26, через которые может подаваться под давлением рабочая среда в полость 27 для сжатия пружин 24, и отверстия 28, служащие для отвода рабочей среды из полости расположения пружин 24.

Работает привод следующим образом.

В верхнюю полость 15 линейного двигателя и через отверстия 26 в полости 27 управляемого тормоза 17 подается под давлением рабочая среда, поэтому вкладыши 23, воздействуя через ролики 22 на пружины 24, сжимают их. В результате этого ролики 22 входят в широкую часть клинового паза 25, внутреннее кольцо 21 освобождается и тормоз 17 размыкается. Рабочая среда из полостей расположения пружин 24 отводится через отверстия 28. Подвижный элемент 2 начинает двигаться вниз и одновременно поворачиваться, скользя по направляющим элементам 5. Крутящий момент, развиваемый подвижным элементом 2, передается промежуточному звену 7 посредством ползунов 29. Далее крутящий момент передается через неподвижное соединение 12 механизму одностороннего действия 14. Этот механизм через неподвижное соединение 13 передает вращение незаторможенному выходному звену 11 и связанному с ним затвору арматуры, который поворачивается на определенный угол в зависимости от принятых конструктивных параметров привода. В нижнем положении подвижного элемента 2 датчик двойного хода (установлен в блоке управления и на рисунке не показан) подает сигнал на реверсирование движения подвижного элемента 2. Во время переключения направления движения подвижного элемента 2 выходное звено 11 неподвижно, так как управляемый тормоз 17 замкнут. Теперь рабочая среда под давлением подается в нижнюю полость 16 линейного двигателя и не подается в отверстия 26 управляемого тормоза 17. Ролики 22 под воздействием пружин 24 входят в узкую часть клинового паза, и тормозят выходное звено 11 от вращения в двух направлениях. В это время подвижный

элемент 2 начинает двигаться вверх и одновременно поворачиваться в обратную сторону. Но теперь промежуточное звено 7 не может повернуть выходное звено 11, так как механизм одностороннего действия 14 в этом направлении не передает крутящий момент, а выходное звено 11 заторможено. При достижении подвижным элементом 2 верхнего положения завершается один двойной ход и промежуточное звено 7 поворачивается на тот же угол, что и при движении вниз.

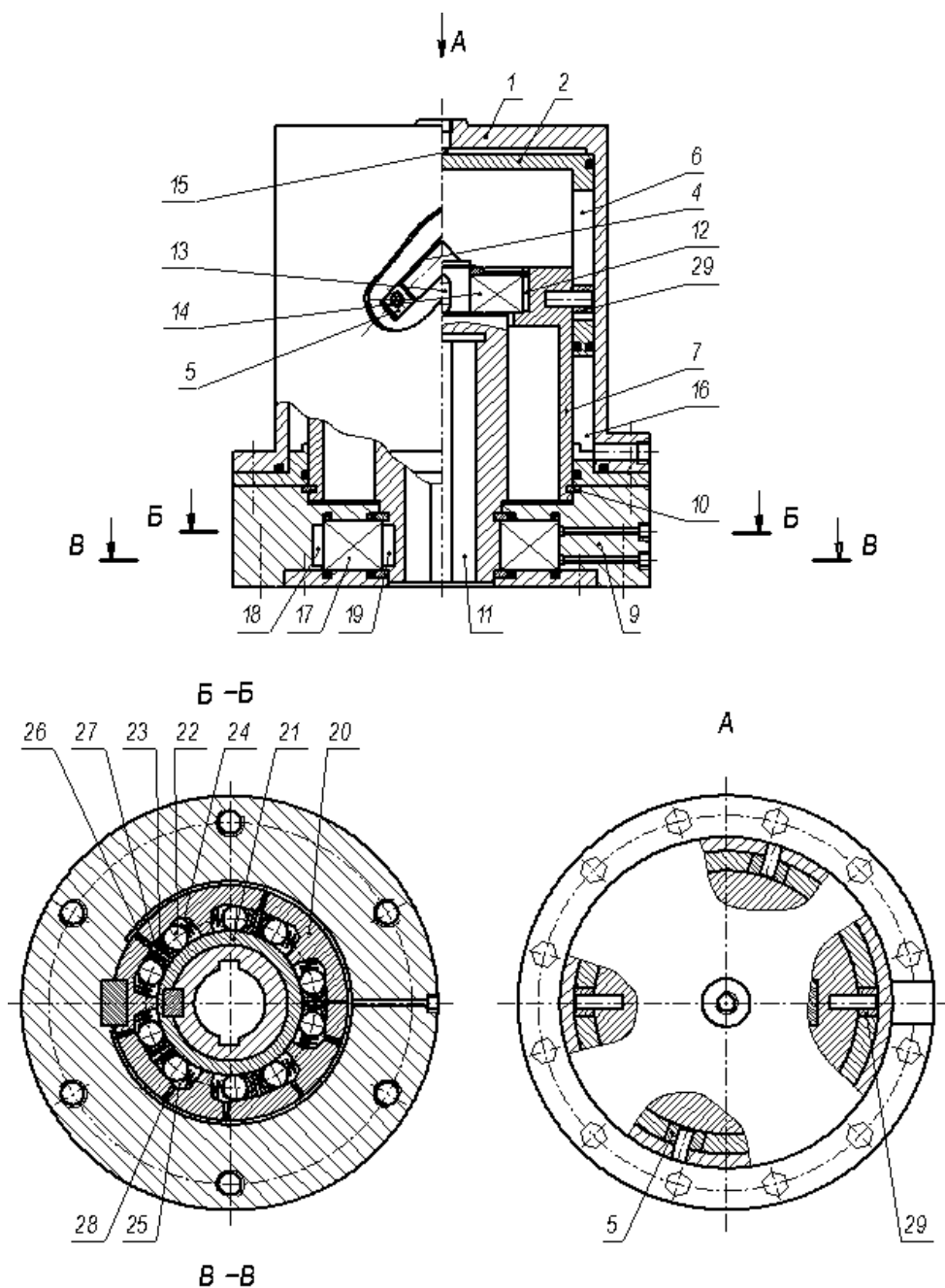


Рисунок 6. Полноповоротный привод

Если необходимое угловое положение затвора достигнуто за один двойной ход, то датчик углового положения затвора (на рисунке затвор и датчик не показаны) или выходного звена 11 подает сигнал на завершение работы привода, причем тормоз 17 остается замкнутым. В противном случае выполняется следующий двойной ход поршня. Таким образом, поворот затвора арматуры можно осуществить на любой необходимый угол. Количество двойных ходов больше одного, с одной стороны, приводит к уменьшению высоты привода, с другой стороны, к увеличению времени поворота на необходимый угол. Вторым фактором важен для привода, как скоростной параметр. Его можно выдержать в необходимых пределах за счет увеличения скорости движения подвижного элемента 2 вверх.

Управляемый тормоз 17 выполняет важную функцию – он может размыкаться только на время рабочего хода, а в остальное время не дает возможности передавать крутящий момент ни от клинового механизма, ни от внешнего воздействия на выходное звено. Тормоз обеспечивает неподвижность затвора шарового крана в любом положении при воздействии на него потока транспортируемой среды и исключает его неконтролируемый поворот, так как в этом случае крутящий момент от затвора через выходное звено 11 привода и тормоз 17 замыкается на неподвижном основании 9 привода, которое связано с неподвижным корпусом крана. Конструктивно тормоз может не входить в состав поворотного привода. Он может быть установлен непосредственно на шпинделе затвора в составе самого шарового крана.

Как видно из описания, привод на рис. 6 отличается от привода на рис. 5 тем, что преобразует возвратно-поступательное движение во вращательное в одном направлении, а не в возвратно-поворотное.

Можно предположить, что применение в приводах кинематической пары с винтовой поверхностью, имеющей большой угол подъема станет перспективным направлением для арматуростроения.

Литература

1. Кутынский Я.М. Запорная арматура МГ: состояние, проблемы, пути совершенствования // Газовая промышленность. – 1998. – №10. С. 33-35.
2. Cameron Products Ball Valves:
http://www.c-a-m.com/cam/search/showdocw.cfm?DOCUMENT_ID=7343 –19.03.2008.
3. Cameron Products Leeden Actuators:
http://www.c-a-m.com/cam/search/showdocw.cfm?DOCUMENT_ID=54536 – 19.03.2008.
4. Руководство по эксплуатации запорных шаровых кранов, установленных на магистральных газопроводах. – М.: ВНИИГазпром, 1992. – 87 с.
5. ActraCam: Precision Actuation by Cameron
http://www.c-a-m.com/content/vm/actracam_webmodule/index.html – 19.03.2008.
6. Кожевников С.Н. Механизмы: Справочник. Изд. 4-е, перераб. и доп. / под ред С.Н. Кожевникова / С.Н. Кожевников, Я.И. Есипенко, Я.М. Раскин. – М.: Машиностроение, 1976. – 784 с.
7. Ципорин Ю.А., Кузнецов Ю.И. Основы конструирования пневматических и гидравлических приспособлений / И.И. Лесниченко. – М.: Машгиз, 1961. – 360 с.