

Кентавры на трубе

В.В. Мороз, технический эксперт ОАО «МосЦКБА»

Продолжение. Начало в № 6 (93), 2014, с. 36; № 1 (94), 2015, с. 58.

Если вернуться из мира античных мифов в наше время, то кентавры получили бы другое название – гибриды (греч. помесь), то есть объекты, сочетающие в себе свойства других (двух или более) объектов. В технике это название применяется часто, но наиболее известным оно стало в автомобилестроении при классификации автомобилей с гибридными силовыми установками, состоящими из обычного двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя. В арматуростроении гибридной можно назвать, например, запорно-регулирующую трубопроводную арматуру [1], совмещающую одновременно функции запорной и регулирующей, могут быть и другие варианты комбинирования функций – арматура, совмещающая в одном корпусе функции запорной и обратной и т. д.

Кентавры – в греческой мифологии – полулюди полулошади обитатели гор и лесных чащ, отличаются буйным нравом и невосдержанностью или, как Хирон, (воспитатель героев греческих мифов Ахиллеса и Эскулапа), – являются воплощением мудрости и благожелательности.



Фото с сайта: www.pda.rinet.ru

Часть 3.

Невозвратно-управляемый клапан

В первой и второй частях статьи «Кентавры на трубе» [2], [3] были высказаны аргументы в пользу разработки гибридной арматуры, а именно – запорно-регулирующих шаровых кранов. В статье была подробно описана новая конструкция и преимущества гибридного шарового крана для загрязненных сред с «плавающей пробкой» и запорно-регулирующего шарового крана на высокое давление для природного газа. Обе конструкции предназначены для установки на трубопроводах небольшого диаметра в обвязке технологического оборудования. В третьей части статьи предлагается универсальное решение для трубопроводов большого диаметра, где, в случае применения обычной арматуры, возникают проблемы, связанные с воздействием давления рабочей среды на большую площадь поверхности запорного органа. В обычной запорной и регулирующей арматуре это приводит к необходимости применения приводов большой мощности, а в защитной трубопроводной арматуре, такой как обратный затвор, к необходимости применения специальных устройств, которые делают посадку запорного диска обратного затвора на седло плавной и мягкой. Из опыта эксплуатации известно, что если в обратном затворе большого диаметра (рис. 1) не установить гидравлический или пневматический демпфер, то вследствие быстрого перемещения диска при его закрытии в трубопроводе может возникнуть гидравлический удар, что опасно для системы в целом. Кроме того, сильный удар диска о седло может привести к аварии в результате выхода из строя деталей затвора или повреждения его уплотнений.

Вот поэтому, сегодня арматуростроительные предприятия выпускают обратные затворы большого диаметра только с демпферными устройствами, пример такой конструкции – обратный затвор DN 1000 PN 100 разработки ПАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе» (Украина) – показан на рис. 2 [4]. Демпфер 16 в этом случае

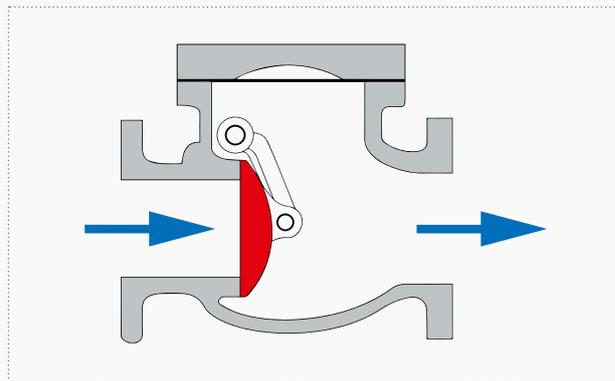


Рис. 1. Классическая конструкция обратного затвора

как раз и предназначен для уменьшения ударных нагрузок на корпус затвора при срабатывании запорного диска. В этой конструкции демпфирующей средой является транспортируемый природный газ. Сам демпфер состоит из следующих основных деталей: корпуса с крышкой, перегородок и лопастей. В корпусе демпфера, который имеет цилиндрическую форму, установлены две неподвижно закрепленные перегородки и вращающаяся втулка с диаметрально расположенными на ней лопастями. Обеспечение минимального зазора между вращающимися лопастями и корпусом, втулкой и перегородками осуществляется с помощью пружинных уплотнений. Герметичность демпфера относительно внешней среды осуществляется с помощью уплотнительных колец. Трубопроводы 28 в обратном затворе предназначены для подвода транспортируемой рабочей среды во внутреннюю полость демпферов. При отсутствии рабочей среды запорный диск находится в закрытом положении под действием собственной массы. Учитывая значительный вес диска, установку обратных затворов производитель рекомендует осуществлять только на горизонтальных надземных участках трубопроводов.

Демпфирование в обратном затворе происходит следующим образом: наличие потока рабочей среды

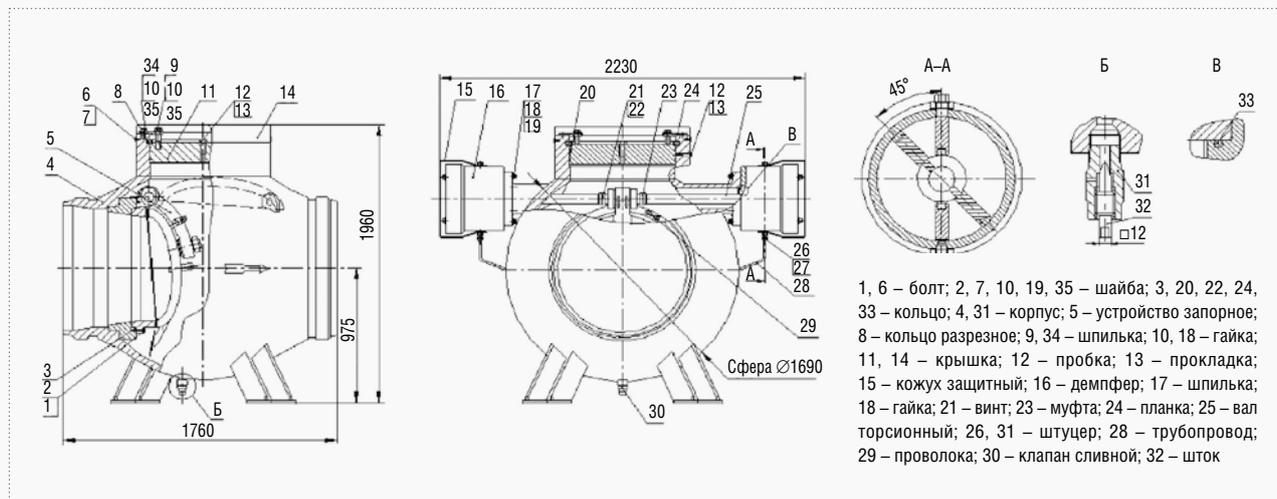


Рис. 2. Обратный затвор DN 1000 PN 100 производства ПАО «Сумское НПО им.М.В. Фрунзе» (Украина)

приводит к открытию диска, при этом крутящий момент, возникающий на валу запорного устройства 5, передается на втулки демпферов 16 с помощью муфты 23 и валов торсионных 25. При снижении скорости потока рабочей среды или возникновении обратного потока газа запорный диск закрывается и запирает проходное сечение затвора. При этом уменьшение ударных нагрузок на корпус затвора обеспечивается за счет сжатия газа, находящегося в рабочей полости корпуса демпфера.

В обратных затворах меньших диаметров часто в качестве демпфирующей среды используется гидравлическая жидкость или грузы, устанавливаемые или непосредственно на диск, или с помощью рычага. Существенный минус безударных конструкций обратных затворов, как упоминалось выше, заключается в невозможности их установки на любых участках трубопровода, кроме горизонтальных, кроме этого, необходимость в обслуживании демпфера исключает подземную установку затвора.

В каталоге продукции фирмы *Goodwin International Ltd. (Великобритания)* [5] приведена красноречивая иллюстрация (рис. 3), описывающая принцип действия традиционного обратного затвора с подъемным диском и негативное влияние веса диска на его работоспособность.

С развитием технического прогресса и увеличением диаметра трубопроводов разработчики начали искать другие решения для обратных затворов, которые позволили бы не только защитить оборудование от обратного потока рабочей среды и нежелательной раскрутки насосов и компрессоров в обратном направлении, но и дополнительно снизить опасность гидроудара в системе, уменьшить гидравлические сопротивления в проходном сечении при одновременном снижении металлоемкости и трудоемкости изготовления и снижении затрат на обслуживание затворов. В результате таких поисков на рынке появились обратные клапаны с осевым течением потока рабочей среды, основным идеологом в продвижении которых стала фирма *Mokveld (Голландия)*.

В обратных клапанах фирмы *Моквелд* концепция осевого течения рабочей среды предполагает ассиметричный поток между внутренним и наружным корпусами клапана (рис. 4) [6], что позволяет снизить сопротивление и потери давления в системе. Сегодня на российском рынке

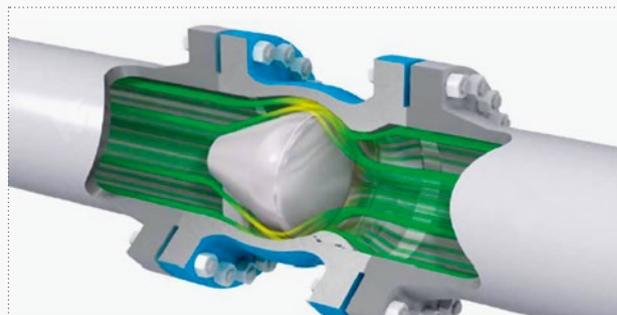


Рис. 4. Обратный клапан с осевым течением потока рабочей среды фирмы Моквелд

наибольшее применение эти клапаны находят в обвязке газоперекачивающих агрегатов (ГПА) на компрессорных станциях, транспортирующих природный газ. Понимая преимущества осевой конструкции и с целью удовлетворения возрастающего спроса, в настоящее время производство таких обратных клапанов освоили многие предприятия, что благоприятно сказывается на конкурентной среде и приводит к снижению стоимости и повышению качества продукции.

Конструкция клапанов у разных производителей принципиально мало чем отличается и довольно проста (рис. 5) [5], главной ее особенностью является то, что корпус и тарелка затвора образуют профиль сопла Вентури, благодаря чему за счет повышения скорости рабочей среды в районе седла открытие клапана происходит при меньших перепадах давления. Кроме этого, при открытом клапане благодаря воздействию гидродинамических сил от скоростного потока на тарелку общие гидравлические потери в нем незначительны, т. е. удерживать тарелку в открытом положении в клапанах этого типа стало «легче». Необходимо отметить еще тот факт, что тарелка клапана всегда перпендикулярна потоку рабочей среды, и в отличие от подъемных обратных затворов при мень-



Рис. 3. «Принцип действия» традиционного обратного затвора по версии художников компании *Goodwin International Ltd.*

релку в открытом положении в клапанах этого типа стало «легче». Необходимо отметить еще тот факт, что тарелка клапана всегда перпендикулярна потоку рабочей среды, и в отличие от подъемных обратных затворов при мень-

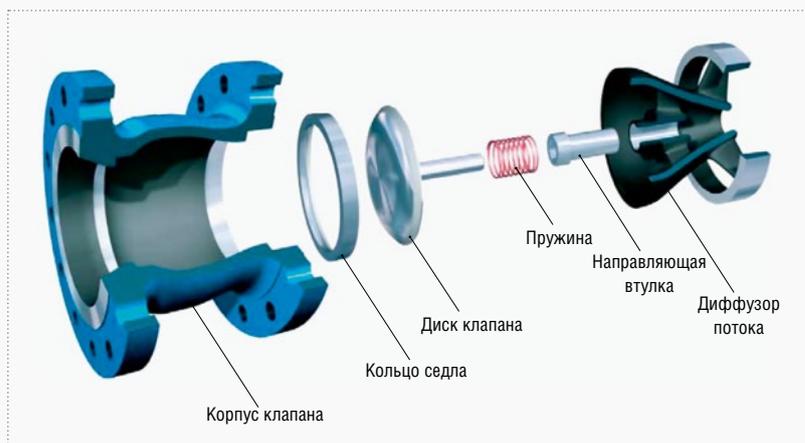


Рис. 5. Устройство обратного клапана производства компании *Goodwin International Ltd.*

шем сопротивлении чувствительность к росту давления перед запорным органом значительно выше.

Кроме обратных клапанов, фирма Моквелд использует концепцию осевого течения и в другой своей продукции – регулирующих и отсечных клапанах. Отсечной клапан осевого типа (рис. 6) [7], разработанный этой фирмой, имеет корпус (1), однотипный с корпусом описанного выше осевого обратного клапана, но в отличие от предыдущего в нем на месте тарелки установлен управляемый поршень (3). Регулирующий клапан этой фирмы аналогичен отсечному клапану, только поршень в этом случае перемещается внутри специальной перфорированной втулки, что позволяет получить заданную характеристику регулирования и избежать кавитации.

Нужно отметить, что отсечной клапан может использоваться и в режиме регулирующего благодаря тому, что в его конструкции уплотнение защищено от воздействия скоростного потока рабочей среды. Наличие такой конструктивной особенности позволяет уплотнению надежно работать при любых перепадах давления на запорном органе и обеспечивать полную двустороннюю герметичность клапана в течение продолжительного периода эксплуатации. Уникальность конструкции состоит также в том, что поршень разгружен по давлению и для его перемещения требуется значительно меньшее усилие привода, чем в шаровых кранах или задвижках на те же параметры, это свойство особенно важно для трубопроводов больших диаметров и с большим давлением рабочей среды. Кроме этого, в клапане благодаря малому ходу поршня (всего 1/4 DN) достигается достаточно высокая скорость срабатывания.

Учитывая все положительные качества осевой конструкции, становится понятным, почему регулирующие клапаны этой фирмы сегодня устанавливаются в наиболее ответственных местах – таких, например, как система антипомпажного регулирования ГПА. Акцентируя внимание на лучших свойствах современных образцов трубопроводной арматуры, далее рассмотрим возможность создания нового универсального клапана путем объединения

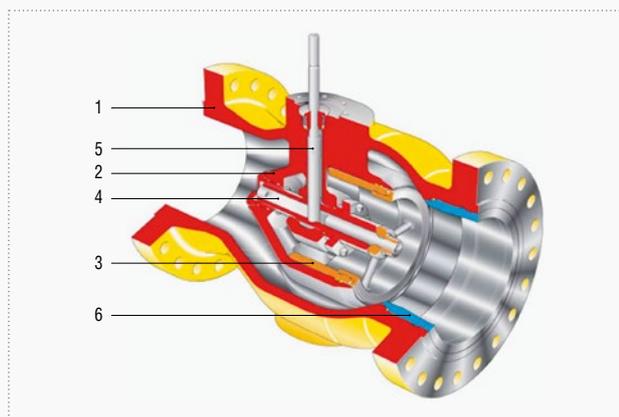


Рис. 6. Отсечной клапан с осевым течением потока рабочей среды фирмы Моквелд

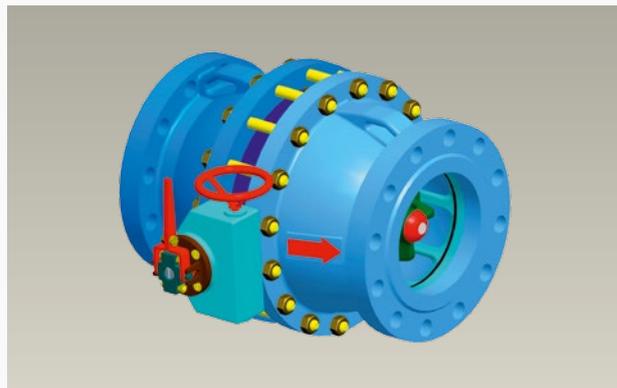


Рис. 7. Универсальный невозвратно-управляемый клапан с осевым течением потока рабочей среды

обратного затвора и отсечного клапана с осевым течением рабочей среды в одном корпусе гибридной конструкции. После чего проанализируем, какую пользу может принести такой арматурный «кентавр» на трубопроводах большого диаметра, и какие у него имеются преимущества по сравнению с традиционной трубопроводной арматурой.

На рис. 7 показан внешний вид описываемого в статье нового универсального невозвратно-управляемого клапана с осевым течением потока рабочей среды. Как видно из рисунка, он во многом похож на ранее описанную осевую трубопроводную арматуру, но, в отличие от клапанов фирмы Моквелд, имеет разборную конструкцию из трехсоставного корпуса. Универсальный клапан предназначен для работы при односторонней подаче рабочей среды и может устанавливаться в трубопроводах большого диаметра за насосом или компрессором. Управление клапаном осуществляется с помощью ручного привода, хотя при необходимости может быть установлен и автоматизированный привод с дистанционным управлением. Клапан совмещает в себе функции запорной, регулирующей и обратной арматуры, что позволяет потребителю сэкономить значительные средства и вместо установки и обслуживания нескольких единиц трубопроводной арматуры установить одну.

Если с клапана со стороны выхода потока рабочей среды снять полукорпус (рис. 8), то можно увидеть клас-

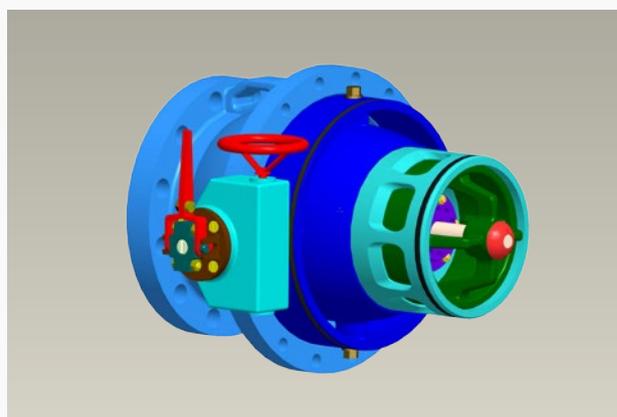


Рис. 8. Запорный узел универсального невозвратно-управляемого клапана с осевым течением потока рабочей среды

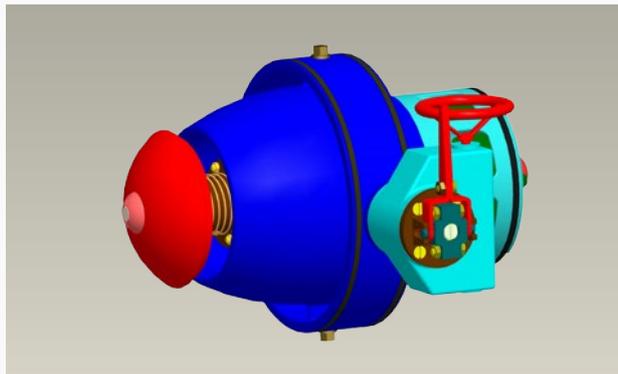


Рис. 9. Универсальный невозвратно-управляемый клапан с осевым течением потока рабочей среды с демонтированными полукорпусами

сическую конструкцию отсечного или регулирующего осевого клапана с тримом и поршнем. Ход поршня в универсальном клапане составляет $1/4$ DN, что гарантирует высокую скорость его срабатывания. Уплотнение поршня защищено от воздействия скоростного потока рабочей среды, что позволяет обеспечить высокую двустороннюю герметичность клапана в закрытом положении и надежную его работу при любых перепадах давления на запорном органе в течение продолжительного периода эксплуатации. Поршень разгружен по давлению, поэтому для его перемещения требуется незначительные усилия и маломощный привод.

Если с клапана снять и второй полукорпус со стороны входа потока рабочей среды (**рис. 9**), то в этом месте увидим тарелку, характерную для классического осевого обратного клапана. Принципиально новым решением в гибридной конструкции является кинематическая связь между перемещением тарелки обратного клапана и перемещением поршня запорного клапана, которая осуществляется благодаря двум рейкам, каждая из которых связана, соответственно, со своим запорным элементом, и зубчатой шестерни, расположенной между ними. Рейки относительно шестерни расположены диаметрально противоположно друг другу, что обеспечивает движение тарелки и поршня в разных направлениях, т. е. они либо

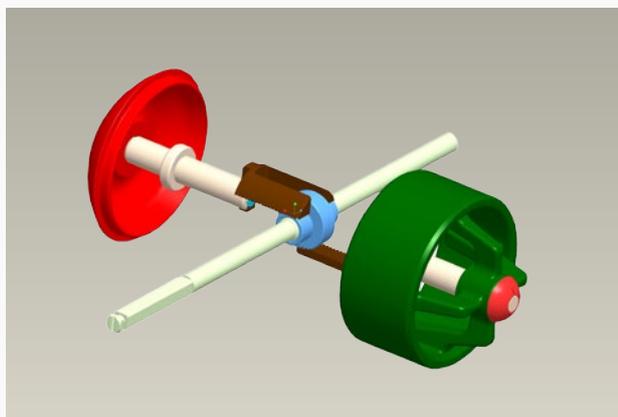


Рис. 10. Расположение тарелки и поршня в универсальном невозвратно-управляемом клапане с осевым течением потока рабочей среды

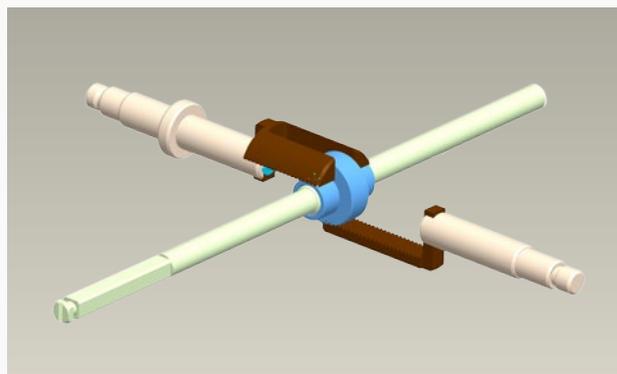


Рис. 11. Расположение подвижных частей клапана: штоков и оси относительно друг друга

перемещаются навстречу друг другу, либо в противоположные стороны.

Благодаря тому, что шестерня выполнена ступенчатой с венцами разного диаметра, ход у тарелки и поршня отличается, и если для обеспечения полного открытия клапана в запорной его части поршень должен перемещаться на ход не менее $1/4$ DN, то перемещение тарелки обратного клапана с целью создания в этом месте профиля сопла Вентури должно быть несколько меньше. Шестерня в клапане установлена на длинной оси, расположенной в центральной части корпуса (**рис. 12**) перпендикулярно трубопроводу, а сама ось установлена в клапане с возможностью продольно перемещаться и занимать два фиксированных положения (**рис. 11**). На оси и в шестерне с одной ее стороны нарезаны шлицы таким образом, что в одном фиксированном положении они входят в зацепление друг с другом, и тогда, при приводном управлении клапаном, шестерня вращается с осью как одно целое, а в другом фиксированном положении шлицы выходят из зацепления, и ось становится неподвижной, а шестерня имеет возможность свободно вращаться на оси.

Универсальный невозвратно-управляемый клапан с осевым течением потока рабочей среды работает следующим образом:

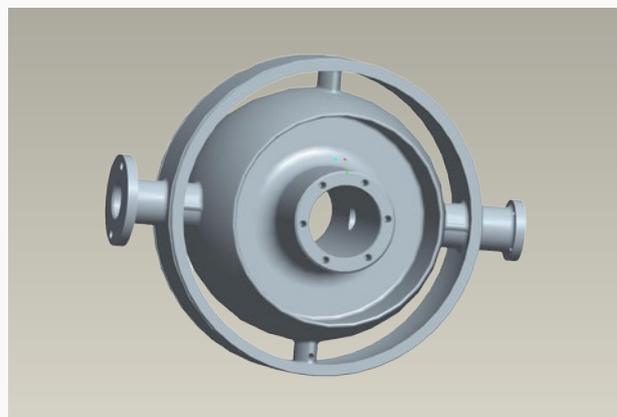


Рис. 12. Центральная часть корпуса универсального клапана

1. Автоматический режим – соответствует режиму работы обратного клапана. В трубопроводе универсальный невозвратно-управляемый клапан должен быть установлен, как и классический осевой обратный клапан, тарелкой по направлению к источнику давления (рис. 7). В режиме обратного клапана шлицы на оси и на шестерне выведены из зацепления, и шестерня свободно вращается. В состоянии покоя клапана, когда компрессор или насос не работает, и отсутствует движение рабочей среды по трубопроводу, тарелка под действием пружины занимает свое крайнее положение и перекрывает трубопровод. Необходимо отметить, что тарелка в универсальном невозвратно-управляемом клапане не выполняет функцию запорного органа и в контакт с полукорпусом не вступает, то есть между ними в закрытом положении есть небольшой кольцевой зазор (рис. 13). Кинематически связанный с тарелкой поршень одновременно с ней также перемещается в свое крайнее положение и герметично перекрывает проход в клапане. Когда начинает работать компрессор или насос, рабочая среда имеет возможность свободно перемещаться за тарелку в полости корпуса клапана (до поршня), где постепенно начинает расти давление. Так как шток, на котором установлена тарелка, входит во внутреннюю полость корпуса, соединенную каналами с трубопроводом за поршнем, где давление рабочей среды отсутствует, то появляется осевая сила, равная по величине произведению давления на эффективную площадь сечения штока. Как только сила на штоке от давления становится больше силы, развиваемой пружиной, и силы трения в уплотнениях штока и поршня, шток начинает перемещаться, что влечет за собой перемещение кинематически связанного с ним поршня. Клапан в результате этого начинает открываться, и появляется скоростной поток рабочей среды. Шток в данном случае выполняет функцию «пилота», т. е. вспомогательного устройства, которое приводит в рабочее положение основное устройство, каковым является поршень. Так как тарелка клапана всегда перпенди-

кулярна потоку рабочей среды, то на ее поверхность начинает воздействовать гидродинамическая сила от скоростного потока, что приводит к дальнейшему перемещению штока с тарелкой в другое крайнее положение и, следовательно, к перемещению связанного с ними поршня. В результате этого клапан полностью открывается (рис. 14).

Благодаря тому, что тарелка с корпусом в этом месте образуют профиль сопла Вентури, клапан будет оставаться в таком положении до тех пор, пока будет работать источник давления и будет сохраняться расход рабочей среды через клапан. При необходимости повысить чувствительность срабатывания клапана диаметр штока может быть увеличен, а сальник в уплотнении штока – заменен сильфоном. В случае остановки компрессора или насоса скорость потока рабочей среды падает, уменьшается гидродинамическая сила, действующая на тарелку, и она под действием пружины начинает перемещаться по направлению к входному отверстию в клапан. Одновременно перемещается связанный с тарелкой поршень и прикрывает проход в клапане. Если поток меняет свое направление на обратный, то в этом случае тарелка выполняет роль «вытяжного парашюта», т. е. вспомогательного устройства, которое приводит в рабочее положение основное устройство, которым является поршень.

Интересно, что в отличие от классического осевого клапана, в котором по мере его закрытия нагрузка на тарелку от обратного потока возрастает, в гибридном клапане она уменьшается, так как поршень по мере закрытия уменьшает расход потока рабочей среды, движущейся в обратном направлении. Этот факт гарантирует то, что закрытие клапана будет плавным и «мягким». Полное закрытие и надежная герметичность клапана обеспечивается силой от давления обратного потока рабочей среды на шток тарелки. Чтобы исключить удары в подвижных частях клапана, вызванных воздействием этого давления на шток, особенно при увеличении его диаметра, на последнем выполнен поршень, который,

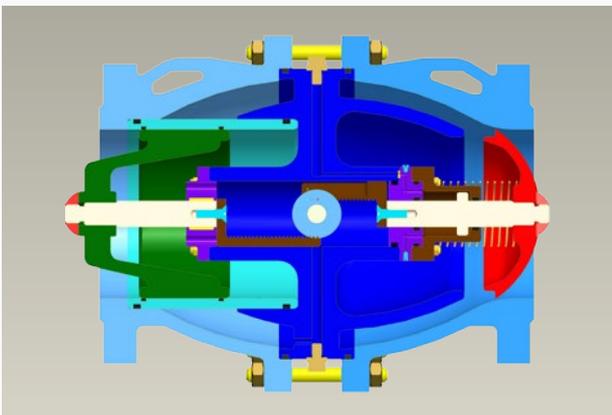


Рис. 13. Универсальный невозвратно-управляемый клапан с осевым течением потока рабочей среды в положении «закрыто»

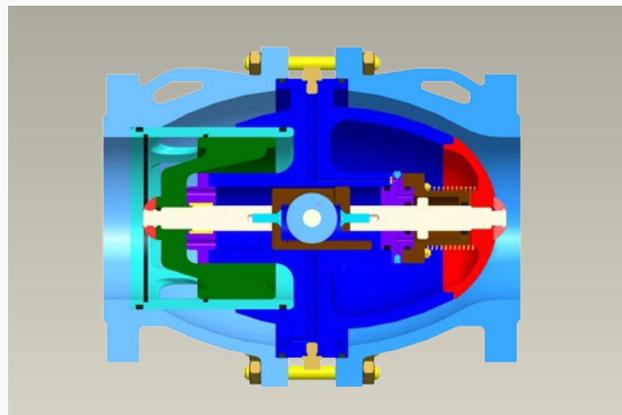


Рис. 14. Универсальный невозвратно-управляемый клапан с осевым течением потока рабочей среды в положении «открыто»

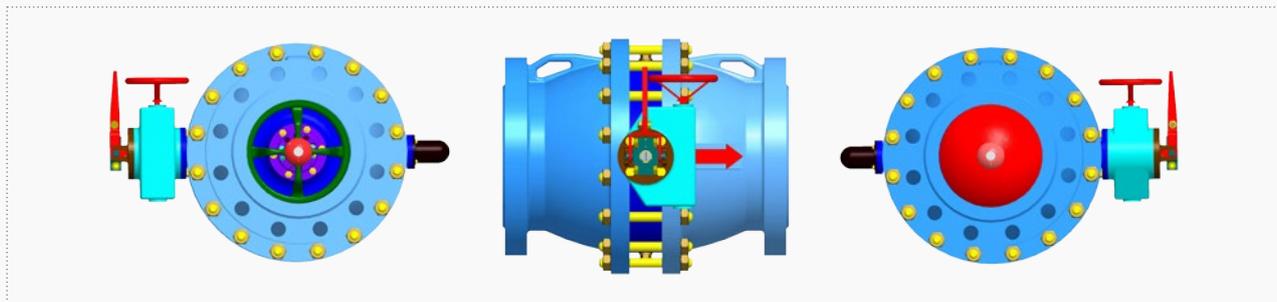


Рис. 15. Универсальный невозвратно-управляемый клапан с осевым течением потока рабочей среды

перемещаясь с зазором в цилиндре с гидравлической жидкостью, гасит скорость перемещения штока.

2. Управляемый режим – соответствует режиму работы запорного или регулирующего клапана. При необходимости использовать универсальный невозвратно-управляемый клапан как запорный или регулирующий клапан на ручном приводе поворотом рукоятки вниз (см. рис. 8) ось переводится в свое другое фиксированное положение, при котором шлицы на оси входят в зацепление со шлицами на шестерне, после чего шестерня вращается с осью как одно целое. После этого, вращая штурвал на приводе, клапан может быть герметично закрыт или оставлен в промежуточном положении для дросселирования рабочей среды.

Описанный выше новый универсальный невозвратно-управляемый клапан с осевым течением потока рабочей среды (рис. 15) как и шаровые краны, описанные ранее в первой и второй части статьи [2], [3], представляет собой типичную гибридную конструкцию, в которой в одном корпусе используются основные узлы от серийных обратных и регулирующих клапанов. Его, следуя упомянутым ранее терминам древнегреческой мифологии, с уверенностью можно назвать еще одним арматурным «кентавром», который, несмотря на необычный внешний вид, тем не менее обладает рядом существенных преимуществ:

- клапан одновременно может выполнять функции обратной, запорной и регулирующей арматуры, поэтому на трубопроводе может быть установлено одно изделие вместо двух или даже трех. Такое решение позво-

- ляет: экономить место в обвязке агрегатов (важно для судов, нефте- и газодобывающих платформ, различных передвижных установок и т. д.); экономить средства потребителя на стоимости корпусных деталей арматуры; уменьшить затраты на монтажные детали;
- совмещение нескольких единиц трубопроводной арматуры в одном универсальном клапане упрощает транспортировку, монтаж, демонтаж и техническое обслуживание арматуры;
- универсальный невозвратно-управляемый клапан может быть изготовлен в подземном исполнении;
- клапан имеет разборную, ремонтпригодную конструкцию, при необходимости может быть изготовлен неразборный корпус;
- клапан имеет разгруженную по давлению конструкцию, что гарантирует безударное срабатывание, поэтому может быть установлен на трубопроводах большого диаметра и с большими значениями давления рабочей среды;
- благодаря сбалансированному по давлению поршню для закрытия или открытия клапана в управляемом режиме требуется привод малой мощности;
- конструкция поршня универсального клапана позволяет обеспечить надежную герметичность при воздействии перепада давления в обоих направлениях;
- клапан обладает низким сопротивлением движению потока, не оказывает возмущающего влияния на поток рабочей среды;
- клапан может быть автоматизирован путем установки электро-, пневмо-, пневмогидропривода.

☞ Список литературы

1. ГОСТ Р 52720-2007 Арматура трубопроводная. Термины и определения.
2. Мороз В.В. Кентавры на трубе, ч. 1 // Арматуростроение. 2014. № 6 (93), с. 36–40.
3. Мороз В.В. Кентавры на трубе, ч. 2 // Арматуростроение. 2015. № 1 (94), с. 58–63.
4. Обратный затвор DN 1000 PN 100. Руководство по эксплуатации ПАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе» (Украина).
5. <http://www.energomash-nov.ru> Каталог. Двустворчатые и осесимметричные безударные клапаны GOODWIN 2012 год.
6. <http://www.mokveld.com> Каталог. Обратный клапан осевого типа.
7. <http://www.mokveld.com> Каталог. Отсечные клапаны.