

The original article was published in Valve World, 2008, October, Volume 13, issue 8. © 2008 Swagelok Company. The translation of the original English article was revised by T. Sklyarova, Trade House «Znamya Truda», JSC, St. Petersburg

Как выбрать экологичный шаровой кран?

Michael Adkins, главный управляющий производства запорной арматуры общепромышленного назначения, **Peter Ehlers**, менеджер рынка альтернативных видов топлива, Swagelok Company, Солон, шт. Огайо, США

Во всем мире все больше и больше внимания уделяется проблеме неорганизованных выбросов в атмосферу¹, обусловленных протечками различного оборудования, в противоположность организованным выбросам, поступающим через специальные отводы или трубы. Все правила и нормативы Соединенных Штатов Америки по выбросам в атмосферу относятся к конкретным регионам, например, в северной части побережья Мексиканского залива они свои. Европейское Бюро по комплексному контролю и предотвращению загрязнения окружающей среды² разработало и выпустило всеобъемлющую Директиву, касающуюся сокращения неорганизованных выбросов. Действуя с 1999 г. в отношении нового строительства, с октября 2007 г. Директива распространяется также и на техническое обслуживание, ремонт и модернизацию существующих производственных мощностей. По некоторым оценкам, требования Директивы затрагивают 50 000 промышленных объектов в Европе. Журнал *European Process Engineer* пишет: «Сфера действия Директивы стала очень обширной, ею выдвинута концепция ВАТ³, побуждающая предприятия с целью снижения неорганизованных выбросов находить наилучшие решения на всех этапах: от проектирования, подбора и монтажа оборудования до обучения персонала, технического обслуживания и контроля, и т.п. Таким образом, Директива требует, чтобы компании принципиально изменили сам подход к своей работе: промышленность должна принимать решения, основываясь на выборе вот именно наилучших продуктов и технологий, и, т.о., отойти от существующей сегодня системы, ориентированной на цены» [1].

Понятие «неорганизованные выбросы» определяется весьма широко, к таковым может быть отнесен любой выброс вредных веществ, происходящий не через газоход, воздухопровод или трубу, в том числе потери при перевозке без тары или отходы при переработке сырья, занесенная ветром пыль, и многие другие побочные явления, присутствующие промышленным процессам.

¹ Согласно ГОСТ 17.2.1.04-77, неорганизованным выбросом является «промышленный выброс, поступающий в атмосферу в виде ненаправленных потоков газа в результате нарушения герметичности оборудования, отсутствия или неудовлетворительной работы оборудования по отсосу газа в местах загрузки, выгрузки или хранения продукта». В отличие от этого, организованный выброс согласно ГОСТ 17.2.1.04-77 — это «промышленный выброс, поступающий в атмосферу через специальные газоходы, воздухопроводы и трубы» (прим. ред.)

² The European Union's Integrated Pollution Prevention and Control — IPPC (прим. перев.)

³ ВАТ — best available technology — технология, наилучшая из доступных

В отношении как вредных выбросов в целом, так и неорганизованных в частности, очевидна тенденция к ужесточению требований стандартов и повышению тщательности контроля. И проблема неорганизованных выбросов выходит здесь на первый план, так как регулирующие органы стремятся установить всё новые ограничения в этой сфере, особенно если речь идет о сверхактивных летучих органических соединениях (HRVOC⁴).

Но не всякая утечка есть выброс в атмосферу. Ведь утечки могут быть как наружными, так и внутренними. Для шаровых кранов к «внутренним утечкам» можно отнести протечки в затворе. Поскольку рабочая среда при этом в атмосферу не попадает, «внутренняя утечка» не является «выбросом». Напротив, утечка среды наружу из полости крана (допустим, через уплотнение штока или прокладки корпуса) — это утечка «внешняя», и в тех случаях, когда наносится вред окружающей среде, такая утечка считается «неорганизованным выбросом».

По данным журнала *Sealing Technology*⁵, количество выбросов в атмосферу по всему миру составляет 1 000 000 тонн в год. [2] А согласно недавнему исследованию, предпринятому Европейской ассоциацией по уплотнениям,⁶ только выбросы предприятий химической и нефтехимической промышленности США в результате утечек через арматуру, насосы и фланцы составляют 300 000 тонн в год. [3] В том же исследовании говорится, что одна треть всех выбросов — это неорганизованные выбросы, треть из которых, в свою очередь, приходится на арматуру.

Внешние утечки через фитинги, запорную арматуру и другие компоненты трубопроводных систем, если учесть их за весь год, могут стать причиной существенных финансовых потерь. Например, для завода, на котором установлено 50 000 фитингов, средний экономический ущерб только из-за утечек через фитинги может составить до \$25 000. [4] Подобные оценки побуждают исповедовать комплексный подход при проектировании систем, выборе оборудования и техническом обслуживании.

В настоящей статье мы сосредоточимся на утечках через отдельные узлы арматуры, а именно, на внешних утечках шаровых кранов — широко распространенного

⁴ Highly Reactive Volatile Organic Compounds. Летучие органические соединения (Volatile Organic Compounds, VOC) — это химикаты, такие как бензол и ацетон, которые легко превращаются в пар при небольшом нагревании, или находятся в парообразном состоянии уже при комнатной температуре, и наносят большой вред здоровью людей и окружающей среде (прим. ред.)

⁵ Название журнала переводится «Технология уплотнений» (прим. перев.)

⁶ European Sealing Association



типа арматуры, подходящего для самых разнообразных условий и используемого во многих отраслях промышленности, включая химическую, нефтехимическую, добычу нефти и газа, энергетику, производство альтернативных видов топлива.

Ключевым вопросом контроля неорганизованных выбросов через шаровые краны является правильный выбор крана для тех или иных условий. Начать следует с получения точной информации об условиях эксплуатации: диапазонах давления и температуры, степени загрязненности рабочей среды, требуемой частоте срабатывания, плановой периодичности технического обслуживания, допустимой величине утечек, требуемом расходе, а также о степени потенциальной опасности для окружающей среды⁷. Далее следует выбрать кран, наиболее точно соответствующий заданным рабочим характеристикам, уделяя должное внимание как конструкции и техническим характеристикам, так и совместимости материалов. Поскольку данная статья не может объять все типы шаровых кранов, предлагается остановиться на двух конструктивных узлах, наиболее значимых при контроле выбросов в атмосферу и расчете общих затрат: узле уплотнения корпуса и узле уплотнения штока.

Уплотнение корпуса

Существуют два типа корпусов, требующих уплотнения, — это (1) резьбовые (бесфланцевые) и (2) фланцевые⁸. Если резьбовой корпус имеет более надежное уплотнение, выдерживает более высокое давление, то фланцевый дает возможность легко и быстро проводить техническое обслуживание крана без снятия его с трубопровода, и это немаловажное преимущество.

Бесфланцевая конструкция включает в себя один или два «резьбовых патрубка», которые вворачиваются в корпус уже после установки в него шара и седлового уплотнения. Площадь уплотняемой поверхности в резьбовом соединении относительно мала, поэтому уплотнение может быть весьма эффективным, герметичным при давлении до 10 000 или даже до 20 000 фунтов на квадратный дюйм (соответственно, 689 или 1378 бар). Кроме того, такая конструкция дает возможность производителю предлагать широкий выбор торцевых соединений.

Фланцевый корпус состоит из трех отдельных частей, соединяемых болтами через фланцы и уплотнение (рис. 1). И так как в данном случае площадь уплотняемой поверхности больше, такая конструкция корпуса обычно используется на более низкое давление. Кольцевая геометрия прокладок фланцевых соединений налагает меньше ограничений на уплотнительный материал, поэтому возможен более широкий выбор материалов для такого уплотнения.

Стандартный уплотнительный материал «от производителя» не всегда адекватен условиям эксплуатации.

⁷ Речь, возможно, о том, что некоторые среды (вода, водяной пар), оказавшись вовне крана, не представляют опасности для человека и природы, так что их внешнюю утечку не следует считать «вредным выбросом» (прим. ред.)

⁸ Цельносварная конструкция корпуса крана уплотнения, как понятно, не требует и потому не рассматривается (прим. ред.)



Рис. 1

Проектировщикам систем следует самим изучить существующие уплотнительные материалы и подобрать их под конкретные условия, рассматривая все имеющиеся возможности, включая металлические прокладки, различные виды эластомерных уплотнительных колец, набивки из Grafoil®-а⁹, дабы конструкция крана была более надежной. Чтобы обеспечить должное сжатие уплотнительных прокладок, используемые для стяжки фланцев болты должны быть высокого качества и изготовлены из соответствующего материала, например, из упрочненной нержавеющей стали 316.

Наряду с большим выбором уплотнительных материалов, преимуществом фланцевой конструкции корпуса является простота и легкость технического обслуживания. После снятия болтов корпус нетрудно выдвинуть для ремонта, при этом нет необходимости демонтировать весь кран из системы. Уплотнения седла и корпуса, таким образом, легко доступны. В преддверии грядущего ужесточения норм по контролю вредных выбросов в атмосферу, простота техобслуживания и ремонта приобретает большое значение. Ведь кран будет обслужен и отремонтирован тем вероятнее, чем легче это сделать.

Утечки могут случиться не только через уплотнения, но и через сам корпус, допустим, через дефекты литья. Выбирая арматуру, разработчику систем следует проверить целостность корпуса и запросить результаты испытаний его материала, как литья, так и мехобработки. Какие спецификации выданы производителем арматуры своим поставщикам металла и заготовок? Какие методы контроля качества использовались? Отчет о Сертификационных Испытаниях Материалов¹⁰ даст ответы на большинство наиболее острых вопросов относительно качества материала корпуса.

⁹ Grafoil - торговая марка UCAR Carbon Company, Inc. (прим. ред.)
¹⁰ Certified Materials Test Report (CMTR) — официальный отчет об испытаниях материалов, проведенных в независимой лаборатории, на основании которого материал считается сертифицированным по ASME (прим. ред.)

Уплотнение штока

В шаровом кране должен иметься конструктивный элемент, который не допускал бы утечек рабочей среды, будь то жидкость или газ, через зазор между штоком и корпусом. Эту роль выполняет уплотнение штока. Когда частота срабатываний велика, износу (который приводит к утечке) подвержено любое уплотнение штока. Однако в конкретных условиях одни уплотнения будут работать эффективнее других. То есть, выбор уплотнения полностью определяется условиями эксплуатации.

Обычная набивка

Самой примитивной технологией уплотнения штока является обычная однокомпонентная прокладка. При затягивании прижимного болта уплотнительный материал (как правило, политетрафторэтилен – ПТФЭ) сдавливается и заполняет пространство между штоком и корпусом.

К сожалению, ПТФЭ и другие подобные материалы набивок подвержены пластической деформации, форма изделий из данных материалов имеет тенденцию со временем изменяться; пластическая деформация может усугубляться давлением и температурой. В некоторых случаях материал уплотнения выдавливается в области, вовсе для него не предназначенные, что снижает эффективность уплотнения и приводит к утечке рабочей среды.

Чтобы компенсировать пластическую деформацию, прижимной болт приходится часто подтягивать, увеличивая сжимающую нагрузку на уплотнение штока, это особенно актуально при переменных рабочих параметрах или при высокой частоте срабатываний. Дополнительное поджатие приводит к необходимости большего усилия для перемещения штока, затрудняя управление краном. В конце концов прижимной болт может попросту уткнуться в корпус крана, и тогда набивку придется менять.

Уплотнения штока, сделанные по этой традиционной технологии, требуют постоянного контроля и регулировки, иначе утечек не избежать. Увы, неопытный оператор не всегда способен уловить тот момент, когда нужно подтянуть болты.

Во избежание выбросов в атмосферу однокомпонентную набивку следует использовать только там, где нет резких колебаний температуры и давления, где частота срабатывания крана ограничена, и где регулярно проводятся проверки и мониторинг оборудования.

Шевронное уплотнение

Двухсоставная шевронная конструкция уплотнения штока – это усовершенствование обычной набивной конструкции сальника, рассчитанное на более широкий диапазон температуры и давления. Она выдерживает высокую частоту срабатываний без интенсивного износа.

Шевронное уплотнение состоит из двух колец треугольного сечения¹¹, вставленных одно в другое. Плотно подогнанные друг к другу, они образуют в сечении прямоугольник (рис. 2). Под действием усилия, прилагаемого к натяжной гайке штока, оба кольца давят друг на друга по диагонали, вдоль которой они соприкасаются, и равно-

¹¹ Говорят также о «V-образном» сечении (прим. ред.)

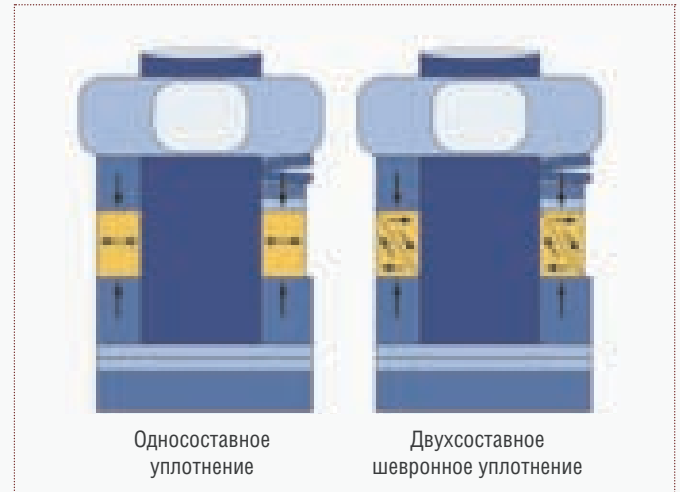


Рис. 2

мерно передают усилие по горизонтали на корпус и шток. Уже при небольших усилиях обжатия между штоком и корпусом создается надежное герметичное уплотнение.

Чтобы шевронное уплотнение надежно работало, два кольца из ПТФЭ – составляющие собственно набивку – должны быть закреплены, дабы уменьшить «пластическую деформацию» при колебаниях температуры. Поэтому в шевронной конструкции узла уплотнения штока эти кольца жестко фиксируются между опорными кольцами и втулками, равномерно распределяющими давление на набивку.

Чтобы не так часто регулировать узел уплотнения, в шевронной конструкции могут применяться подпружиненные тарельчатые шайбы Belleville^{TM12}. Эти пружины создают «динамическую подгрузку», обеспечивающую неизменность давления в уплотнении при изменении температуры и давления в системе. Пружины поддавливают набивку так, чтобы сохранялся необходимый уровень уплотняющего усилия. При высокой температуре они сжимаются, позволяя материалу набивки расширяться, а при снижении температуры, наоборот, разжимаются, поддерживая должный уровень давления на уплотнение. Таким образом, механизм «динамической подгрузки», используя «регулирующее» усилие пружин, позволяет шевронному уплотнению работать в неизменном режиме вне зависимости от перемены внешних условий. В итоге кран легко управляется, а износ набивки минимален. Не будь пружин, при повышении температуры набивка стремилась бы расширяться и занять какое-то фиксированное пространство, возросла бы нагрузка на шток, и началась бы пластическая деформация. Результатом стал бы ускоренный износ набивки и трудности при управлении краном.

В некоторых конструкциях кранов допускается воздействие давления рабочей среды на шток. Механизм динамической подгрузки отреагирует и на такое «отжимание» штока – так же, как на расширение и сужение материала набивки, – соответствующим образом поддавливая ее.

Арматура с обычной набивкой также может иметь пружины для создания «динамической подгрузки», но в этом случае их использование не столь эффективно. Пружины

¹² Т.н. «пружины Бельвилля» (прим. перев.)



позволят набивке из ПТФЭ сжаться или расшириться до определенной степени, но при этом без использования шевронных колец давление на шток не будет постоянным. К тому же для обычной набивки сальника потребуется куда большая жесткость «подгружающих» пружин, и под большим давлением набивка может выпятиться, став чересчур «тесной» для штока. И уже за несколько рабочих циклов будет накапливаться значительный износ уплотнения. Потребуется частая замена набивки, возникнут утечки.

Уплотнительные кольца

Еще одна эффективная технология уплотнения штока использует уплотнительные кольца с круглым сечением, т.н. «O-rings»¹³. Если уплотнительный узел правильно сконструирован, эта технология обеспечивает гибкие возможности: уплотнение подходит и для высокого давления среды, и для низкого, и даже для переменного — как, например, в газовом баллоне, где давление со 160 бар, когда он полон, падает до 7 бар, когда он почти пуст.

Кольца круглого сечения обычно изготавливаются из высокоэластичного материала, такого как фторуглерод ФKM¹⁴. Как и при шевронном уплотнении, здесь не требуется чрезмерного поджатия. По сути дела, кольца «активируются» давлением рабочей среды. Когда давление среды растёт, кольцо сильнее деформируется и сжимает шток. И, наоборот, при падении давления кольцо «расслабляется», заполняя собой пространство между штоком и корпусом. Благодаря своей высокой эластичности подобные уплотнительные кольца принимают ту форму в сечении, которая обеспечивает необходимую герметичность¹⁵.

Конструкция узла уплотнения штока с кольцами круглого сечения должна включать опорное (поднабивочное) кольцо (или что-то ему подобное), обычно изготовленное из ПТФЭ, которое под высоким давлением удерживает в себе уплотнительное кольцо. Опорное кольцо сделано так, чтобы не допустить выдавливания уплотнения. При его отсутствии уплотнительное кольцо «вылезет» за дозволенные ему пределы, и может быть «обрезано» движущимся штоком. Выдавливание кольца из канавки чревато утечками и затруднениями в работе крана.

Использование колец круглого сечения в качестве уплотнений особенно эффективно при высоком давлении. Эластомеры выбираются исходя из их стойкости к температуре, давлению, а также химической стойкости. Пользователю следует самому задуматься над тем, что у него за рабочая среда, и какой из эластомеров будет к ней стоек.

Несоосность штока

Наряду со сказанным выше по поводу уплотнения, утечки могут быть также вызваны несоосностью штока. Если по какой-либо причине шток наклонен или нагружен боковым давлением, то может иметь место неравномерный износ уплотнения, что приведет к утечке. Существуют две основных причины несоосности.

¹³ В русскоязычной литературе, особенно в дилерских презентациях продуктов иностранных производителей, термин O-rings часто не переводят (прим. перев.)

¹⁴ ФKM — «фторкаучук», фторсодержащий эластомер (прим. ред.)

¹⁵ Т.е., работают по принципу «самоуплотнения» (прим. ред.)

Во-первых, несоосность может быть результатом некорректной установки привода. Если оси вала привода и штока не были совмещены, шток может быть наклонен или криво установлен, вызывая неравномерный износ набивки.

Во-вторых, выход из строя уплотнений седла внутри крана также может привести к наклону штока. Чтобы разобраться в данном вопросе, прежде всего, следует детальнее рассмотреть внутреннее устройство шаровых кранов. Краны бывают либо с плавающей пробкой, либо с пробкой в опорах.

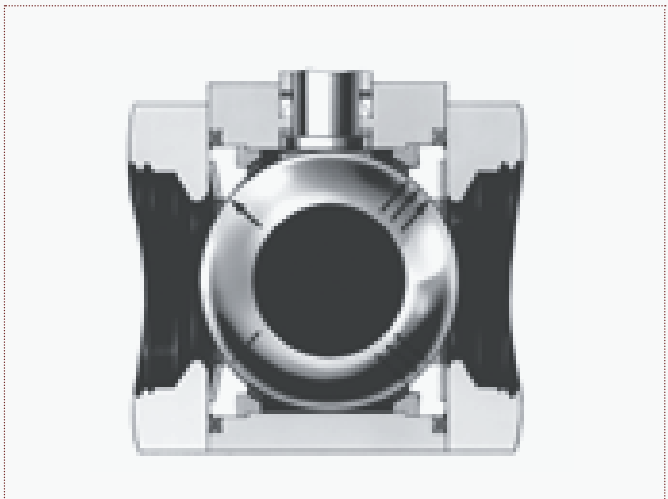


Рис. 3

В кранах с плавающей пробкой шар не закреплен внутри корпуса, а как бы плавает между двумя седлами. В положении закрыто (рис. 3) герметичность достигается за счет того, что под действием перепада давления рабочей среды шар прижимается к уплотнению седла со стороны выходного отверстия, там, где давление ниже.

А вот в кранах с пробкой в опорах запирающий элемент, хоть его тоже именуют шаром, имеет не вполне шарообразную форму. Он, скорее, похож на веретено: два цилиндра (их называют цапфами), присоединенные к шару сверху и снизу (рис. 4). Установленный в полость корпуса крана, такой элемент не может перемещаться вдоль оси потока. При открытии и закрытии крана «веретено» плавно поворачивается на своих цапфах, закрепленных во втулках или подшипниках.

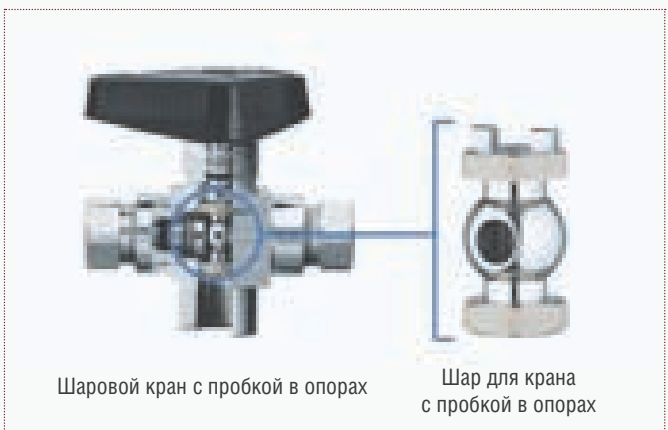


Рис. 4



При высоком перепаде давления шар крана с плавающей пробкой может быть прижат к седлам со стороны выходного отверстия — причем прижат слишком сильно. А при отсутствии современной конструкции седла — например, подпружиненного, включающего в себя уплотнительное кольцо и пружину с каждой стороны, — шар может и не вернуться в центральное положение. В результате шток будет наклонен в одну из сторон и со временем станет изнашиваться неравномерно.

Конструкция крана с пробкой в опорах предотвращает чрезмерное прижатие шара к седлам. Закрепленные строго по оси, цапфы сохраняют центральное положение шара, и шток остается соосным. Даже при гидравлическом ударе — когда несжимаемая среда (например, вода) вызывает резкий скачок давления, — соосность сохраняется.

Заключение

У данной статьи нет цели рекомендовать какую-то одну конструкцию крана в ущерб другой; мы не утверждаем, что, например, кран с пробкой в опорах лучше крана с плавающей пробкой. Каждая конструкция имеет свою область применения. Мы лишь старались показать, что у различных конструкций — различные эксплуатационные качества и характеристики, и всё это имеет прямое отношение к проблеме неорганизованных выбросов. При выборе шарового крана проектировщик должен обратить внимание на совместимость материалов, на характерные для системы давления и температуры, на плановую периодичность обслуживания и частоту срабатывания. Более того, если определяющим показателем при выборе крана все же становится цена, проектировщику следует отдавать себе отчет, на какие компромиссы он может пойти. Реальная стоимость крана — это ведь не только расходы при его покупке, но и все те затраты, которые понесет после этого пользователь. Начиная от расходов на закупку запчастей по непрерывно растущим ценам и на уплату всё более строгих штрафов за загрязнение окружающей среды и заканчивая прямыми и косвенными убытками, связанными со слишком частым техническим обслуживанием, отказами и заменой кранов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Childs, Peter. «Прокладки и уплотнения значительно снижают выбросы в атмосферу», октябрь 31, 2005.
 [2] Onat, Adem. «Выбросы в атмосферу. Обзор», октябрь 10, 2006.
 [3] European Sealing Association; <http://www.eurosealing.com>
 [4] Sterling, Arthur. «Выбросы в атмосферу через детали трубопроводов: распространенность и величина (переработано)», сентябрь 1, 1999.

*Впервые статья была опубликована
 в журнале «Valve World»
 в октябре 2008 г., №13, выпуск 8.
 Статья переведена Т. Скляровой,
 ЗАО «ТД «Знамя труда»*