



Фото с сайта: pozitiv-ads.ru

Введение в сильфонную арматуру

Rajesh K. Salins, Bell O Seal Valves Pvt Limited

Сегодня в промышленности используется огромное количество самых разных опасных и ядовитых веществ, что вкпе с постоянно ужесточающимися требованиями законодательства делает обязательными реальные меры по защите и контролю. Основными средами, для которых требуется так называемая «арматура с нулевыми утечками», являются: теплоносители, аммиак, хлор, фосген, бутадиен, бензол, этилен, соляная кислота, водород, пар, жирные кислоты и среды категории М по ASME B31.3¹, и это лишь часть всего многообразия подобных сред. Сильфонное уплотнение подразумевает под собой абсолютную герметичность по отношению к внешней среде, эта конструкция позволяет исключить потери среды, угрозу для людей и окружающей среды, а также затраты времени и денег на обслуживание или замену сальника.

¹ Согласно ASME, это среды, «разовая утечка малейшего количества которых способна нанести невосполнимый вред человеку при вдыхании или физическом контакте, даже если предприняты все необходимые восстановительные меры».

От редакции

Оригинальная статья была опубликована в журнале Valve World, April, 2016, p. 83 (www.valve-world.net).
Перевод Т.С. Складаровой.

Об авторе

Rajesh K. Salins –

управляющий директор компании Bell O Seal Valves Pvt Limited, занимающейся производством задвижек и запорных клапанов с нулевыми утечками во внешнюю среду.



» В сильфонной арматуре основной деталью является именно сильфон. Металлические сильфоны – это тонкостенные детали цилиндрической формы. Они отличаются гофрированной поверхностью, при этом гофры расположены перпендикулярно к оси цилиндра. Благодаря гофрировке сильфоны обладают высокой упругостью при осевых, поперечных и угловых деформациях. В то же время, они выдерживают высокие давления и температуры, а также коррозионностойки и плюс к тому устойчивы к кручению. Металлический сильфон играет роль преграды между штоком и дублирующим уплотнением (т. е. сальниковой набивкой). Есть несколько технологий изготовления сильфонов: бесшовные, сварные и гнуто-сварные.

Бесшовные сильфоны

Бесшовные сильфоны, сформованные гидравлическим методом (см. **рис. 1**), изготавливаются из тонкой трубы. Бесшовная труба производится методом экструзии, прошивки или глубоким сверлением. Гидравлическим способом труба или цилиндр выдавливается нару-



Рис. 1. Бесшовный сильфон, сформованный гидравлическим методом

жу, формируя гофры. Достигается однородность сильфона, а гидравлическое давление, под действием которого он формуется, служит еще и испытанием материала сильфона на отсутствие дефектов, которые могли возникнуть при производстве.

Сильфоны, сформованные гидравлически, имеют ограничения по длине. Это может привести к тому, что, например, в задвижках, где требуется значительное линейное перемещение шпинделя, для обеспечения полного хода может понадобиться два или три таких сильфона, сваренных вместе.

Сильфоны из трубок со сварным швом (гнуто-сварные)

Широкое применение находят сильфоны из трубок со сварным швом

(см. **рис. 2**). В процессе их производства тонкий лист материала сворачивается в трубку, и методом микроплазменной сварки выполняется сварной шов. Опять же, достигается однородность сильфона, а гидравлическое давление, под действием которого он формуется, служит испытанием материала сильфона на отсутствие производственных дефектов.

Сварные сильфоны

Сварной сильфон (см. **рис. 3**) изготавливается из набора мембран, сваренных попарно как по внешней, так и по внутренней кромкам (см. **рис. 4**). Для создания однослойного сильфона с пятью гофра-ми потребуются выполнить минимум девять сварных швов. Такие сильфоны способны выдерживать более высокие степени сжатия и растяжения

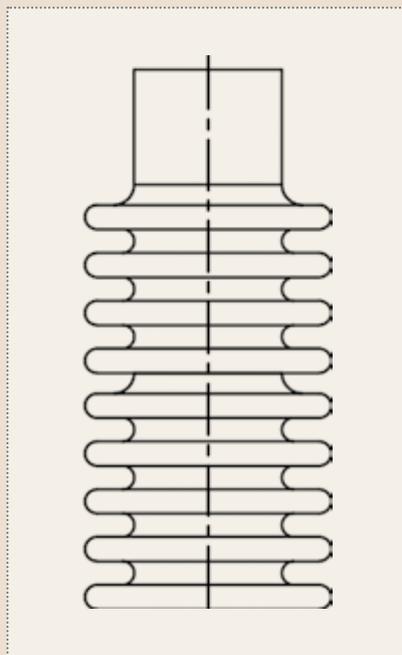


Рис. 2. Пример сильфона из трубки со сварным швом



Рис. 3. Пример сварного сильфона

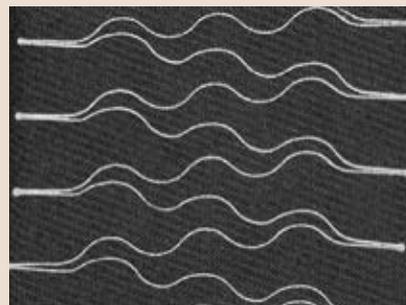


Рис. 4. Конструкция сварного сильфона

(имеют больший ход), чем другие конструкции сильфонов, а значит, конструкцию арматуры можно сделать более компактной. Но такие сильфоны дороже, а их эксплуатационные характеристики сильно зависят от качества процесса сварки, используемого в их производстве для соединения гофров.

Ресурс сильфонов

Длина сильфона должна быть такой, чтобы общее количество гофр позволяло обеспечить полный ход клапана. На каждый гофр сильфона по всей его длине приходится одинаковая нагрузка. Величина хода клапана в рабочем режиме влияет на срок службы сильфона.

Поперечное и угловое смещение сильфона сокращает ресурс клапана (см. **рис. 5**). Сильфон может просто не выдержать полного хода. Избыточный ход сильфона сверх установленного для него предела существенно сокращает его срок службы. И наоборот, ресурс сильфона можно значительно увеличить за счет уменьшения хода.

В конструкциях сильфонных клапанов и задвижек очень важно, чтобы жесткость сильфона была настолько низкой, насколько это возможно. Ведь чем меньше жесткость, тем

меньше крутящий момент на маховике, требующийся для сжатия сильфона, и тем продолжительнее срок службы клапана. Избыточное сжатие сильфонов может привести к повреждению гофр и сокращению ресурса. Нагрузки на сжатие для сильфона предпочтительнее нагрузок на растяжение. Еще одним фактором, влияющим на ресурс сильфона, являются циклические изменения давления.

В сильфонных задвижках и клапанах нагрузка на сильфон функционально зависит от хода и перепада давления. Если арматура не имеет хода, изменения нагрузки на сильфон на протяжении всего жизненного цикла связаны лишь с перепадами давления. Ресурс сильфона мог бы быть неограниченным, если бы при колебаниях давления в нем не накапливалась усталость. Если ход сильфона совершается при постоянном уровне давления, то можно ожидать, что его ресурс будет выше, чем при больших колебаниях давления. Это главное соображение, которым следует руководствоваться при выборе и сравнении ресурсов сильфонной арматуры различных производителей. При сравнении результатов ресурсных испытаний сильфонной арматуры следует исходить из того, что все сильфоны выдержали гидравлические испытания и соответ-

ствуют требованиям величины хода арматуры, для которой они предназначены. Ресурс сильфонной арматуры устанавливается при растяжении сильфона на полный расчетный ход при расчетном давлении. Постоянное давление при ресурсных испытаниях оказывает меньшее влияние, чем его быстрые перепады.

Работа под давлением

Способность сильфона держать давление обусловлена наличием тонкой стенки, и эта способность должна быть тщательно сбалансирована с его упругостью и жесткостью. Удвоение толщины стенки повысит уровень давления, которое сильфон способен выдержать, но существенно снизит его ход и повысит жесткость, что приведет к большим крутящим моментам, необходимым для совершения хода арматуры. Разработчики сильфонов и арматуры сочетают давление, упругость и жесткость благодаря применению многослойных конструкций. Давление, которое может выдержать сильфон, можно удвоить или утроить путем применения двух или трех слоев металлической оболочки (см. **рис. 6 и 7**). Если однослойный сильфон при некотором ходе выдерживает определенное давление, то многослойный

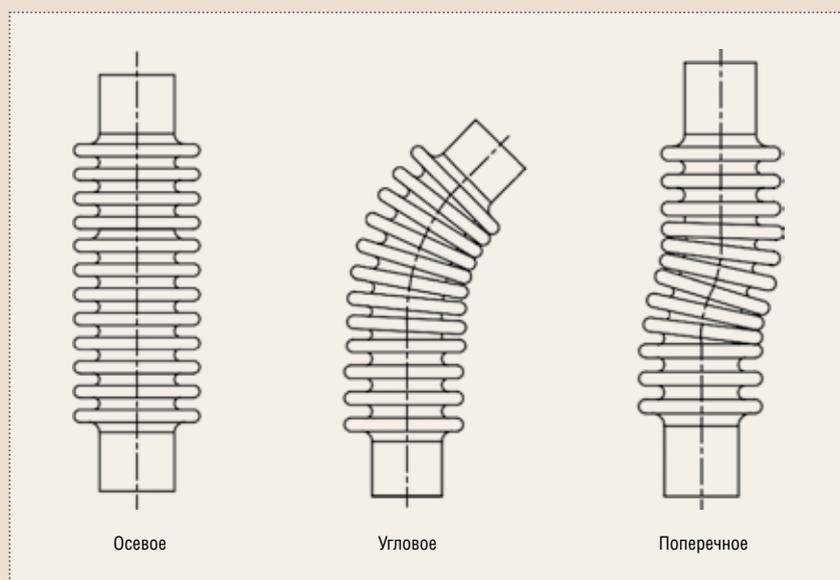


Рис. 5. Возможные виды смещения сильфона: осевое, угловое и поперечное



Рис. 6. Однослойный сильфон



Рис. 7. Многослойный сильфон

сильфон с той же толщиной стенок при том же ходе выдержит давление в два или в три раза больше. Если же толщина стенки однослойного сильфона равна сумме толщин всех стенок двух- или трехслойного сильфона, он сможет выдержать такое же давление, что и многослойный сильфон, но его ход будет существенно меньше, а жесткость выше. Многослойные сильфоны применяются в конструкциях задвижек и клапанов. Как правило, толщина листа для изготовления однослойного сильфона для этих типов арматуры находится в диапазоне от 0,10 до 0,50 мм. Это значит, что сильфон должен быть изготовлен из материала, коррозионная стойкость которого значительно превышает коррозионную стойкость материала корпусных деталей, ведь применение сильфона в конструкции не должно понижать коррозионную стойкость арматуры в целом. Приварка сильфонов к арматуре должна выполняться таким способом, чтобы это не повлияло на коррозионную стойкость материала сильфона. Эффективная толщина шва при присоединении сильфона к арматуре и обеспечении герметичности должна быть не более толщины сильфона. Сильфоны, сваренные из коррозионностойких тонких мембран, нельзя приваривать непосредственно к изготовленным из углеродистой или легированной стали корпусу, крышке, золотнику, штоку или переходнику. Впрочем, в небольших клапанах шток и золотник могут быть изготовлены из того же материала, что и сильфон, так что в данном случае приварка сильфона непосредственно к золотнику или штоку допускается.

Ограничения по применению

Сильфонная арматура имеет ряд ограничений в использовании. Вкратце они таковы.

Ресурс. Количество циклов ограничено у сильфонов, применяемых в арматуре, подверженной большим

Таблица 1. Квалификационные испытания сильфонов

Размер клапана (NPS)	Минимальный ресурс, циклы	
	задвижки	запорные клапаны
Арматура класса давления ≤ 800:		
≤ 2	2000	5 000
2½–4	2000	5 000
> 4	1000	2 000
Арматура класса давления > 800:		
≤ 2	2000	2 000
2½–4	1000	2 000
> 4	1000	1 000

колебаниям давления, сжимаемых и растягиваемых при работе на всю возможную длину. По стандарту MSS SP-117 под циклом понимается переход от полностью открытого положения до полностью закрытого и обратно. Конструкции должны пройти квалификационные испытания в соответствии с требованиями, приведенными в табл. 1, если конечный потребитель и производитель не договорятся о других требованиях.

Давление. Поскольку сильфоны конструируются так, чтобы обеспечить упругость и низкую жесткость, стенки мембран, из которых они изготовлены, приходится делать тонкими. Увы, трудно представить, как можно разработать сильфон для арматуры на более высокие давления, чем это есть сегодня, используя существующие требования по расчетам толщины стенок в зависимости от давления. Разработать сильфоны для задвижек и клапанов высокого давления, которые при этом обеспечивали бы упругость и малую жесткость, видимо, невозможно. Особенно для классов давления выше 2500.

Коррозионная стойкость. Проблема – в выборе материалов для сильфонов, работающих в агрессивных средах. Подбор материала сильфона для заданных условий эксплуатации требует гораздо большего внимания, ведь, в отличие корпусных деталей, у стенок сильфонов нет припуска на коррозию. Как правило,

сильфоны изготавливаются из легированной титаном стали 316Ti, нержавеющей стали 321, инконеля 625, инколя 825 и хастеллоя C276.

Размеры. Сильфонные задвижки намного выше обычных. Сильфоны должны соответствовать требуемой высоте хода задвижки. Это приводит к необходимости в задвижках применять удлиненные сильфоны, что не всегда вписывается в конфигурацию и габариты системы трубопроводов.

Утечки через сальник

Одной из самых частых и критически важных проблем, с которой сталкиваются в арматуростроении, являются утечки через сальниковое уплотнение, что приводит к лишним тратам и остановке предприятия. Не считая колоссальных энергопотерь, утечки во внешнюю среду могут привести к экологической катастрофе, нанести вред здоровью работников предприятий. Утечки легко воспламеняющихся и взрывоопасных сред могут стать причиной пожара, взрыва или в силу своей коррозионной активности вывести из строя оборудование. Воздух, проникающий в трубопровод, может образовать легко воспламеняющуюся или ядовитую смесь. И так как сальниковая арматура требует очень частого ремонта и технического обслуживания, а при ограничении доступа к арматуре могут возникнуть дополнительные трудности, достичь нулевых

утечек во внешнюю среду (атмосферу) можно только применяя сиффонную арматуру (см. **рис. 8 и 9**).

Экономическая эффективность применения

Для анализа экономических преимуществ использования сиффонной арматуры по сравнению с поршневой и сальниковой рассмотрим три варианта конструкции клапана DN15 на класс давления 150. Для этих трех клапанов оценивались: капитальные расходы, расходы на техническое обслуживание и расходы, связанные с потерей среды или энергии.

Капитальные расходы на единицу оборудования см. в **табл. 2**.

Расходы на техническое обслуживание см. в **табл. 3** (принимая во внимание, что утечки по штоку у обычного запорного клапана начинаются в течение шести месяцев, а у поршневого клапана – девяти месяцев).

Мы предположили, что запасное уплотнительное кольцо поршня стоит 5 USD за пару, набивка сальника – 1,25 USD, а затраты на выполнение ремонтных работ – 6 USD в час.

Стоимость простоя и потерь энергии или среды см. в **табл. 4**. Для оценки утечки через сальник примем, что повреждение сальника равно 0,001 дюйма, а цена за тонну пара равна 20 USD. Пар через такое повреждение вытекает со скоростью 25 фунтов/час.

Если принять скорость утечки 11 кг пара в час, это будет значить, что теряется 264 кг пара в день или 7920 кг в месяц. Исходя из стоимости в 20 USD за тонну пара, получаем, что в день теряется энергии приблизительно на 5 USD, а в месяц – на 160 USD, которые можно было сохранить! Стоимость простоя не оценишь, и назначить ей какое-то значение не получится. Она может варьироваться от нескольких сотен до миллионов долларов в день.

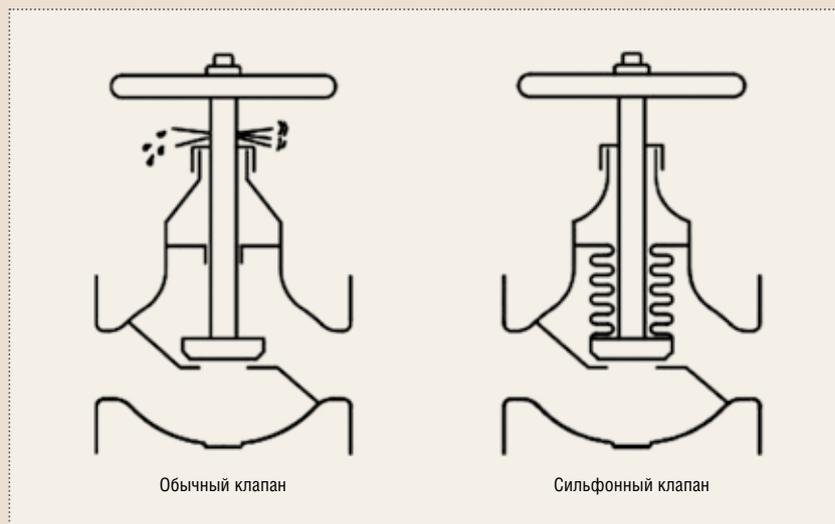


Рис. 8 и 9. Утечки через сальниковую набивку обычных сальниковых клапанов можно устранить за счет применения сиффонного уплотнения штока.

Совокупная стоимость владения (приобретения и эксплуатации арматуры) за двенадцать месяцев (в USD) см. в **табл. 5**. Воспользовавшись данными **табл. 2, 3 и 4**, можем рассчитать совокупные расходы собственника по всем трем клапанам за двенадцать месяцев.

Таблица 2

Вид арматуры	Стоимость, USD
Сиффонный запорный клапан	75
Поршневой клапан	38
Сальниковый запорный клапан	20

Таблица 3.

Вид арматуры	Стоимость запасных деталей, USD	Стоимость работ, USD	Простои
Сиффонный запорный клапан	Нет	Нет	Отсутствуют
Поршневой клапан	5	12	2 часа
Сальниковый запорный клапан	1,25	6	1 час

Таблица 4.

Вид арматуры	Стоимость простоя	Стоимость потерь среды или пара (USD/месяц)
Сиффонный запорный клапан	Ноль	Нет
Поршневой клапан	Нет оценки	160 (или 5 в день)
Сальниковый запорный клапан	Нет оценки	160 (или 5 в день)

Таблица 5.

Вид арматуры	Капитальные расходы	Расходы на техническое обслуживание	Потери энергии	Расходы через 12 месяцев
Сиффонный запорный клапан	\$75	Ноль	Ноль	\$75
Поршневой клапан	\$38	\$17	\$450 (5 x 90 дней) ¹	\$505
Сальниковый запорный клапан	\$20	\$7,25	\$900 (5 x 180 дней) ²	\$927,25

¹ Предполагается, что утечки начинаются спустя девять месяцев.

² Предполагается, что утечки начинаются спустя шесть месяцев.

Сравнительная таблица

Теперь можно оценить положительные и отрицательные стороны сальфонного клапана по сравнению с поршневым и сальниковым:

	Сильфонный клапан	Поршневой клапан	Сальниковый клапан
Основное уплотнение штока	Металлический сильфон	Поршневое кольцо	Сальниковая набивка
Дублирующее уплотнение	Сальниковая набивка	Отсутствует	Отсутствует
Утечки по штоку	Отсутствуют, так как металлический сильфон способен выдержать несколько тысяч циклов	Появляются, как только изнашиваются уплотнительные кольца	Весьма часто. Появляются через несколько циклов срабатывания из-за трения штока и сальника, независимо от качества сальниковой набивки
Замена набивки	Не требуется	Кольца требуют частой замены	Набивку нужно часто менять
Стоимость замены	Не требуется	Очень высокая	Высокая
Потери среды	Нулевые потери. Утечки через металлический сильфон невозможны	В случае появления – утечки велики	Значительные утечки через сальниковое уплотнение. Как правило, очень большие утечки, если оставить без технического обслуживания
Остановка оборудования	Не требуется	Требуется для замены колец	Требуется для замены сальниковой набивки
Расходы на техническое обслуживание	Не требуются	Высокие, так как кольца необходимо менять как минимум один раз в полгода	Очень высокие, сальниковую набивку необходимо менять или перенабивать. Стоимость с учетом простоя оборудования, трудозатрат – очень высокая
Срок службы	Долговечный	Недолгий	Очень короткий – несколько месяцев. Из-за утечки по штоку детали эродируют, что делает клапан непригодным к ремонту спустя уже несколько месяцев
Безопасность	Может применяться практически для любых сред	Может применяться только для ограниченного ряда сред, например, пар, горячая вода	И вовсе небезопасен, если используется на опасных или взрывоопасных средах
Расходы	Первоначально сравнительно высокие, но совокупная стоимость владения ниже	Высокие, учитывая общий экономический эффект	Первоначально низкие, но спустя несколько лет – очень высокие, если учесть стоимость набивки, трудозатраты, стоимость простоя, количество замененных клапанов

Примечание: приведенные данные могут отличаться у разных потребителей и в разных странах в части стоимости арматуры, стоимости производства пара и прочего. Частично использованы данные анализа, проведенного компанией Witzenmann GmbH.

Природа никогда не спешит, но всегда успевает.

Лао Цзы