

От редакции

Оригинальная статья была опубликована в журнале Valve World, January/February, 2016, p. 42 (www.valve-world.net). Перевод Т.С. Складовой.



Шаровой кран, извлеченный из криогенной камеры для проведения испытаний на герметичность по отношению к внешней среде. Фото предоставлено Neway Valves

Арматура для СПГ

Neeraj Batra, Hitoshi Suzuki

Когда СПГ (сжиженный природный газ) приобрел популярность как экологически чистое топливо, в его производство были вложены огромные средства, значительный объем инвестиций в развитие этого направления ожидается и в дальнейшем. На любом промышленном предприятии трубопроводная арматура всегда является средоточием вопросов работоспособности и герметичности, поэтому совсем не удивительно, что, если речь заходит о легковоспламеняющихся средах, таких как СПГ, арматуре требуется и уделяется особое внимание.

Об авторах

Статья написана **Neeraj Batra** (инженер по материалам для трубопроводных систем) и **Hitoshi Suzuki** (технический руководитель группы по материалам и технологиям), специалистами Chiyoda Corporation. Chiyoda – мировой лидер в области СПГ, компания основана в 1948 году и с тех пор построила целый ряд заводов и участвовала в многочисленных проектах более чем в сорока странах мира.



Принятая терминология

Краткий разбор терминологии, принятой в криогенной технике, поможет читателям глубже разобраться в криогенной арматуре, особенно в арматуре для СПГ.

Криогенная среда: газ, которой может поменять свое состояние на жидкое при охлаждении до температуры минус 100 °F (минус 73 °C) или ниже. Этилен (точка кипения минус 104 °C при атмосферном давлении), метан (точка кипения минус 162 °C при атмосферном давлении) и азот (точка кипения минус 196 °C при атмосферном давлении) – наиболее распространенные примеры криогенных сред.

Криогенная температура: в арматуростроении криогенными считаются температуры в диапазоне от минус 100 °F (минус 73 °C) до минус 425 °F (минус 254 °C).

Криогенный блок/модуль (cold box)¹: теплоизолированный от окружающей среды объем, находящийся в котором единицы оборудования нет необходимости изолировать по-отдельности. Криогенные блоки нередко встречаются в воздухоразделительных установках.

Удлинение элементов оборудования, находящегося в криогенном блоке (cold box extension): удлинение корпуса/крышки арматуры, находящейся в криогенном блоке, необходимое для того, чтобы механизм управления находился за его пределами. Хотя размер удлинения устанавливается стандартами, как правило, он равен расстоянию от осевой линии арматуры до нижнего основания сальниковой коробки.

Удлинение элементов оборудования, находящегося вне криогенного блока (Non-cold box extension): удлинение корпуса/крышки арматуры, применяемое в арматуре, имеющей индивидуальную теплоизоляцию. Хотя размер удлинения устанавливается стандартами, как правило, он равен расстоянию от верхней поверхности соединения корпус-крышка до нижнего основания сальниковой коробки. В настоящей статье внимание уделяется именно такой арматуре, так что все упоминания

удлинения будут предполагать расположение арматуры вне криогенного блока.

Воротник (Drip plate): кольцеобразная пластина, привариваемая к удлиненной крышке для защиты изоляции от конденсата или дождя.

Газовый столб (Gas column): участок удлинения корпуса/крышки, в котором может сформироваться паровая теплоизоляция. Длина этого участка не установлена ни в одном стандарте и обычно определяется по рекомендации поставщика (расположение поддона на крышке).

СПГ: аббревиатура словосочетания «сжиженный природный газ», который, в основном, состоит из метана (90–95%) с небольшим количеством этана, пропана, бутана и азота. Природный газ переводят в жидкое состояние при криогенной температуре (ниже минус 162 °C) с целью уменьшения занимаемого объема (СПГ в жидком виде занимает в 600 раз меньше места, чем то же количество газа). Это упрощает транспортировку СПГ танкерами от заводов по сжижению газа к удаленным потребителям, куда иным способом газ так просто не доставить. Катар, Индонезия, Малайзия, Австралия – самые крупные производители СПГ, в то время как Япония, Корея, Индия и Китай – основные его потребители.

Особые требования к конструкции криогенной арматуры

Криогенной арматуре (особенно арматуре для СПГ), присущи следующие особенности, отличающие ее от арматуры общепромышленного применения.

Удлиненная крышка: необходима для изоляции набивки сальника от воздействия криогенной температуры, поскольку замерзшая сальниковая набивка сделает арматуру неработоспособной. А иней, образовавшийся на маховике или редукторе, будет помехой при управлении арматурой. Испарившийся СПГ в удлиненной крышке служит теплоизоляцией для набивки.

Высота удлинения крышки определена, например, стандартами BS 6364 (Арматура для криогенных сред), MSS SP-134 (Арматура для криогенных условий экс-

¹ Поскольку в русском языке отсутствует устоявшаяся адекватная терминология, мы приводим также англоязычные варианты терминов (прим. ред.).

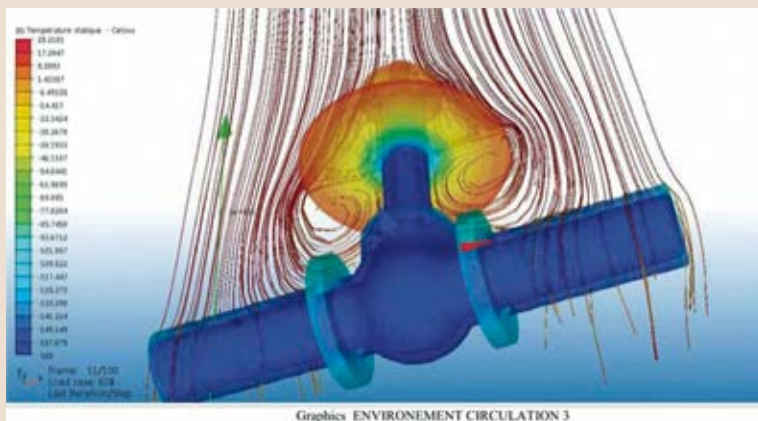


Рис. 1. МКЭ-моделирование для определения эффективности удлинения штока и газового столба. Фото предоставлено AEV Valves Belgium

плутации, включая требования к удлинению крышки или штока), и ISO 28921-1 (Промышленная арматура. Запорная арматура для условий низких температур).

В тех случаях, когда в стандартах нужных данных нет, поставщики для расчета требуемого удлинения используют метод конечных элементов (МКЭ), анализируя температурные поля крышки и штока в области сальниковой набивки (см. **рис. 1**).

Окончательно рекомендации поставщиков в отношении удлинения крышки и высоты изолирующего газового столба подтверждаются в ходе криогенных испытаний арматуры.

Установка арматуры: арматуру для транспортировки СПГ рекомендуется устанавливать с отклонением от вертикали не более 45 градусов, чтобы избежать проникновения криогенной среды в сальниковую набивку (см. **рис. 2**).

Разгрузка застойных зон (Cavity relief mechanism): требуется для арматуры с внутренними полостями (шаровые краны с пробкой в опорах и с плавающей пробкой, а также клиновые и шиберные задвижки, задвижки

с распором между дисками). Это необходимо, чтобы предотвратить скопление внутри арматуры среды, которая в случае испарения под действием внешнего тепла вызовет резкий рост давления. (Объем СПГ при комнатной температуре увеличивается в 600 раз. См. **рис. 3**).

Для разгрузки застойных зон арматуры применяются следующие способы:

Шаровые краны с плавающей пробкой и клиновые задвижки: в шаре или клине высверливают отверстие, что позволяет уравновесить давление со стороны высокого давления при закрытии.

Шаровые краны с пробкой в опорах: используется сочетание механизмов одностороннего прижатия седла (SPE²) и двустороннего прижатия (DPE). SPE применяется для сброса давления на стороне повышенного давления при выполнении функции перекрытия потока. Механизмы уплотнения с использованием SPE и DPE различаются конструкцией седла и расположением манжетных уплотнений в их канавках (см. **рис. 4**). Конструкция может быть такова, что избыточное давление либо отталкивает шар от седла (седла с односторонним прижатием), либо прижимают седла к шару (седла с двусторонним прижатием).

Механизм разгрузки шиберных задвижек и клиновых задвижек с распором между дисками в настоящей статье не рассматривается в силу того, что данная арматура, как правило, для СПГ не применяется.

² Single Piston Effect – в прямом переводе «Одиночный поршневой эффект» – такое устройство уплотнения крана, когда повышенное давление среды изнутри корпуса перепускается в проточную часть. Double Piston Effect означает, что в такой конструкции уплотнения оба седла тем или иным образом прижаты к шару, и перепускания среды через седло в проточную часть не происходит (прим. ред.).

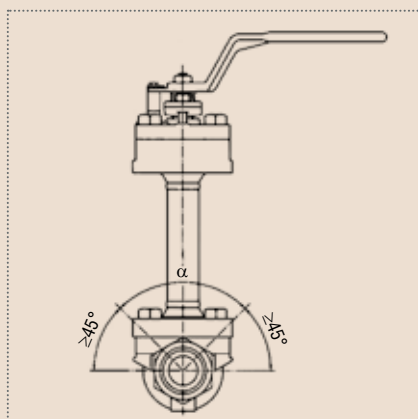


Рис. 2. Из стандарта ISO 28921 «Промышленная арматура. Запорная арматура для условий низких температур». Показано рекомендуемое положение арматуры с удлиненной крышкой, расположенной вне криогенного блока.

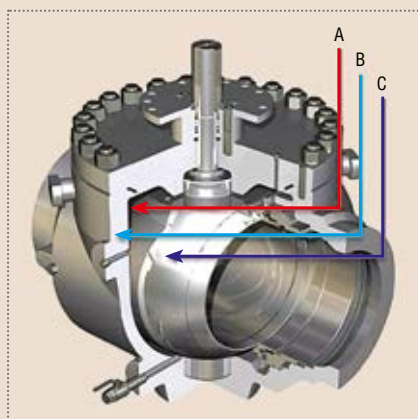


Рис. 3. Полость шарового крана, в которой может скапливаться СПГ. А – полость (зазор между шаром и корпусом); В – корпус; С – шар



Рис. 4. Манжетное уплотнение. Фото предоставлено Neway Valves

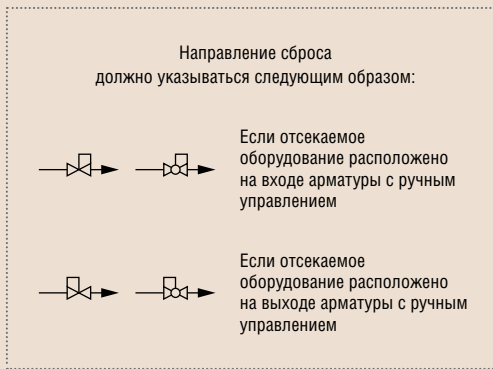


Рис. 5. Типичное обозначение направления сброса давления в арматуре на технологической схеме трубопроводов и КИП (расположение показано для задвижки и шарового крана)

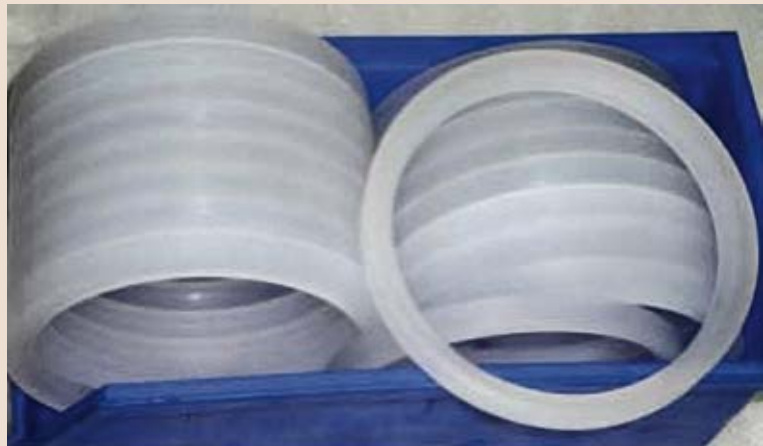


Рис. 6. Седла из ПТФЭ. Фото Neway Valves

Дополнительные данные об арматуре, имеющей устройства сброса давления:

1. Направление сброса давления должно быть четко указано на технологической схеме трубопроводов и КИП, а также на арматуре (см. **рис. 5**). Одно из удачных мест для указания направления – на воротнике. Установка арматуры на месте эксплуатации должна проходить с учетом указанного направления.

2. Наличие отверстия в запирающем элементе или использование седел с односторонним прижатием означает, что арматура – однонаправленного действия. То есть, не следует проводить ремонтные работы на стороне сброса давления. Некоторые производители могут возразить, что шаровые краны, у которых одно седло с односторонним, а другое с двусторонним прижатием (SPEXDPE) – двунаправленного действия, если из полости сброшено давление среды перед проведением работ по техническому обслуживанию. Однако на практике может оказаться невозможно полностью сбросить давление по причине, например, проблем с доступом к сливному клапану (который может находиться под теплоизоляцией).

3. Диаметр высверливаемого отверстия должен определяться инженером-конструктором, отвечающим за арматуру. Как правило, рекомендуемый размер 3 мм, хотя и в задвижках, и в шаровых кранах встречаются размеры и побольше.

4. Конструкции седел SPEXDPE не описаны ни в одном стандарте, регламентированные требования к ним отсутствуют. А значит, если вы хотите быть уверенными в том, что седла одностороннего действия, применяемые для разгрузки полости арматуры, корректно работают, их работу необходимо проверить путем испытаний, а поставщик должен предоставить сопроводительные документы, описывающие, как именно работают седла в данной конструкции.

Выбор материалов для криогенных условий эксплуатации: наиболее распространенным материалом для криогенных условий эксплуатации является аустенит-

ная нержавеющая сталь (SS 316). Хотя для изготовления трубопроводов и фитингов для наземных установок СПГ предпочитают использовать сталь SS 304, для изготовления арматуры используется SS 316 по той причине, что при отрицательных температурах арматура из этой стали лучше себя показывает в части срабатывания затвора. Хотя СПГ – очень чистая среда, задвижки и запорные клапаны имеют седла с наплавкой из стеллита, так как СПГ – среда еще и очень сухая, а посему не дает смазывающего эффекта.

Для мягкого уплотнения в затворе шаровых кранов используется ПТФХЭ (политрифторхлорэтилен, см. **рис. 6**) для уплотнительных вставок, а ПТФЭ (политетрафторэтилен) и SS 316/инконель в качестве уплотнительного материала (такое уплотнение обычно называют манжетным).

Уплотнительные кольца круглого сечения из эластомерных материалов для криогенных сред не применяются из-за ограничения по температуре (типичный для них предел – до минус 40 °С).

Особое внимание следует обратить на выбор уплотнительных колец для поворотных дисковых затворов с тройным эксцентриситетом, ведь именно на них лежит основная ответственность за герметичность в затворе. Для получения оптимальных уплотняющих характеристик необходимо придерживаться надлежащей инженерно-технической практики и реальных рекомендаций, полученных от ведущих поставщиков арматуры, которые советуют остановиться на прочных кольцах из аустенитной стали SS 316. Этот материал – гарантия долговечности при работе в криогенных условиях.

Дополнительные порты: например, для дренажа и спуска, при условии, что к ним не будет доступа, не нужны. Как правило, арматура для СПГ имеет защитную изоляцию толщиной 100–250 мм, а значит, добраться до этих портов будет практически невозможно.

Если же присоединение дренажа или слива необходимо для проведения испытаний, то такие соединения должны быть сварными с соответствующей проверкой ударной вязкости и отметкой в технологической карте

сварки. Необходимо заметить, что хотя в соответствии с ASME B31.3 (таблица A1 M) проверка ударной вязкости основного металла не требуется для температуры до минус 255 °С, сварные швы, тем не менее, рекомендуется проверять на ударную вязкость, если температура ниже минус 29 °С, так как в присадочный металл намеренно добавляется дельта-феррит, чтобы избежать образования усадочных и горячих трещин в нержавеющей сталях.

Выбор присоединительных концов: исторически сложилось так, что для условий СПГ применялись фланцевые присоединительные концы. Однако повышение требований безопасности и меры по снижению до мини-

муму вредных выбросов в атмосферу и утечек криогенных сред обусловили применение в новых строящихся объектах, связанных с СПГ, арматуры с привариваемыми встык соединениями.

Дополнительные данные об арматуре с привариваемыми встык соединительными концами:

1. Следует принимать во внимание особенности проведения технического обслуживания и отдавать предпочтение конструкциям шаровых кранов и поворотных дисковых затворов, собираемых сверху. Необходимо предусмотреть место для возведения временных мостков или лесов при погрузочно-разгрузочных работах, а также средства перемещения пробок шаровых кранов, клиньев задвижек и дисков поворотных затворов больших размеров.

2. Присоединительные концы арматуры из отливок подлежат радиографическому контролю, поскольку при сварке имеющиеся дефекты отливок на привариваемых встык концах могут быть усугублены.

3. О проведении технического обслуживания поворотных дисковых затворов, собираемых сверху (только сверху или через верхний и боковой патрубки), обязательно нужно проконсультироваться у поставщика.

Типы арматуры: тема слишком обширная, чтобы уместиться в одну статью, и требует отдельного рассмотрения. Исторически для СПГ применялись шаровые краны с плавающей пробкой и с пробкой в опорах – все благодаря высокой герметичности. Однако после разработки новых конструкций поворотных дисковых затворов с тройным эксцентриситетом и эксцентриковых шаровых кранов конечные потребители в связи с отсутствием в них застойных зон стали отдавать предпочтение этим типам запорной арматуры (см. **рис. 8**). Кроме того, в отличие от шаровых кранов, уплотняемых давлением среды, данная арматура уплотняется крутящим моментом привода. С технической точки зрения всегда лучше полагаться на арматуру, уплотняемую моментом и не имеющую застойных зон вместо арматуры, уплотняемой давлением и с застойными зонами, конструкции сброса среды из которых не стандартизованы и у каждого производителя свои. В конечном счете, философию выбора арматуры определяет опыт потребителя.

Криогенные испытания арматуры

При проведении криогенных испытаний следует руководствоваться следующими стандартами:



Рис. 7. Поворотный дисковый затвор BWT компании IMI Orton с тройным эксцентриситетом и металлическим уплотнением в затворе после испытаний в криогенных условиях (конструкция со сборкой сверху)



Рис. 8. Эксцентриковый шаровой кран с сегментной пробкой без застойных зон сводит к минимуму риски катастрофических последствий. Фото AEV Valves Belgium

- BS 6364 Арматура для криогенных условий эксплуатации,
- MSS SP-134 Арматура для криогенных условий эксплуатации, включая требования к удлиненным крышке/корпусу,
- ISO 28921 - 1 Промышленная трубопроводная арматура. Отсечные клапаны для применения в условиях низкой температуры.

Требования, изложенные в стандартах, слишком обширны для одной статьи. Тем не менее, криогенные испытания очень важны для подтверждения того, что:

- i) размер удлинения крышки/корпуса и высота паровой изоляции достаточны, а набивка сальника при испытании находится при нормальной температуре,
- ii) герметичность в затворе соответствует заданным требованиям,
- iii) утечки во внешнюю среду находятся в пределах допустимых величин,
- iv) крутящий момент, прилагаемый для управления арматурой, находится в пределах человеческих возможностей, и пр.

Установка и испытания на месте эксплуатации

Для криогенной арматуры применяются особые процедуры хранения. Ее необходимо защитить от грязи и влаги. Кроме того, арматура должна пройти пневмоиспытания (в рамках испытаний системы, если это требуется) при установке на месте эксплуатации, так как очень сложно, а порой и невозможно удалить воду из застойных зон. А если в арматуре будет присутствовать вода, она попросту замерзнет во время эксплуатации, что приведет арматуру в нерабочее состояние.

Заключение

Для СПГ нужна очень специфическая арматура, поэтому нужно уделять особое внимание ее конструированию, выбору и испытаниям. Ведь эта арматура управляет чрезвычайно легковоспламеняемыми средами, и любой ее отказ может привести к катастрофическим последствиям и остановке производства. Хотя снижение капитальных затрат стало ныне крайне актуальным из-за падения цен как на сырую нефть, так и на СПГ, к подбору арматуры по-прежнему следует относиться с особым вниманием и приобретать ее только у проверенных поставщиков.

Тщательно отобранная, специально разработанная и прошедшая все необходимые испытания арматура сведет потенциальные риски к минимуму.



**ВАШ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ
И НАДЕЖНЫЙ ПОСТАВЩИК
ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ,
ФЛАНЦЕВ И ФИТИНГОВ!**



STAINLESS STEEL & CARBON STEEL



VALTEK (Shanghai) Ind. Co., Ltd.

MAIL: valtek@val-tek.com.cn

TEL: +86-21-6469-5232

FAX: +86-21-6481-2319