

Криогенные клапаны высокого давления

Термин высокое давление подразумевает собой определённый тип арматуры. Классификация арматуры по давлению согласно ГОСТ 24856-2014 представлена в таблице 1.

Разработка и изготовление арматуры высокого давления сложный процесс. Высокая степень герметичности и продолжительная работоспособность – приоритетные задачи при разработке данного типа арматуры. Также необходимо стремиться достигать наименьших потерь давления при прохождении рабочей среды через проточную часть клапанов. Низкая температура криогенной рабочей среды значительно увеличивает сложность разработки и изготовления. Изменение геометрических размеров материалов различно, усугубляется процесс тем, что температура в различных областях проточной части клапана разная, соответственно размеры меняются так же по-разному. Достичь герметичности в таких условиях, например, в сальниковом уплотнении клапана непростая задача. Так же из-за низкой температуры необходимо учитывать возможное охрупчивание деталей, для предотвращения этого нужно правильно подобрать материалы и продумать конструкцию клапана. При изготовлении важно обеспечить высокий уровень качества поверхности деталей в уплотнительных узлах клапана, что достигается точной механической обработкой и полировкой. Нарушение этих условий приведёт к негерметичности или преждевременному износу клапанов высокого давления.

Правильный выбор конструкционных и уплотнительных материалов имеет при конструировании криогенных клапанов высокого давления приоритетное значение. В первую очередь, необходимо не допустить утечки рабочей среды в атмосферу. Основным барьером между рабочей средой и атмосферой в запорных клапанах служит сальниковое уплотнение. При уменьшении температуры рабочей среды свойства материалов и геометрические размеры деталей подвергаются существенным изменениям, которые могут привести к негерметичности или разрушению. Для сохранения герметичности необходимо перенести сальниковое уплотнение в теплую зону путём увеличения расстояния сальника от потока рабочей среды, которое достигается с помощью удлинения штока. Температура рабочей среды по длине штока постепенно снижается, в результате изменяется её агрегатное состояние из жидкого в газообразное, что приводит к созданию «газовой подушки» между уплотнением и рабочей средой. Следующим шагом является выбор такого матери-

Тип арматуры	Давление
Арматура низкого давления	до PN25 включительно
Арматура среднего давления	свыше PN25 до PN100 включительно
Арматура высокого давления	свыше PN100

Таблица 1. Классификация арматуры по давлению

ала уплотнения, применение которого при температуре ниже –40°С не приведёт к охрупчиванию и к негерметичности. Поэтому, в качестве материалов для уплотнений, работающих при температуре ниже –40°С, обычно, применяют фторопласты.

Существует несколько марок фторопласта. Рассмотрим применимые марки для арматуры с низкотемпературной рабочей средой, и их технические характеристики в таблице 2:

- Фторопласт-3 (политрифторхлорэтилен, PCTFE) отличается высокой прочностью и твердостью, при высоких температурах хорошо плавится, размягчается, меняет форму, напротив, к воздействию низких температур – устойчив. Применяется в составе антикоррозионных покрытий. Существует модифицированный фторопласт-3 с маркировкой Ф-3М;
- Фторопласт-4 (политетрафторэтилен, PTFE) имеет наиболее высокую плотность среди прочих фторопластов, устойчив к действию высоких температур (выдерживает нагревание до 160 °С и захлаживание до -260 °С), отличается высокой гидрофобностью и малой пористостью. На сегодняшний день существует несколько разновидностей фторопласта-4, например, Ф-4ПН, Ф-4О, Ф-4Д и другие. Все они имеют отличительные свойства, которые обуславливают их применение в той или иной сфере;
- Фторопласт-40 схож по свойствам с Ф-4, устойчив к воздействию агрессивных реагентов, не пропускает УФ-лучи, не горюч. Производится в двух видах – Ф-40П и Ф-40Ш.

Важной задачей при конструировании является обеспечение герметичности за-

твора. По причине нелинейности термодформации стали, деформация корпуса будет большей в той области, где криогенный продукт воздействовал дольше. В связи с этим детали четко подогнанные друг к другу при комнатной температуре, могут не сопрягаться при криогенной температуре. Поэтому в криогенной арматуре используются уплотнительные материалы, менее всего подверженные термодформации и обладающие достаточной эластичностью и упругостью при экстремальных параметрах работы. В конструкции криогенной арматуры MV&F уплотнения изготавливаются из Фторопласта-4, обладающего самой низкой предельной температурой –260 °С. Также необходимо отметить, что фторопласты обладают довольно низким коэффициентом трения 0,02...0,04, что в первую очередь увеличивает срок службы арматуры. Корпусные детали запорных клапанов изготавливаются преимущественно из нержавеющей стали 12Х18Н10Т или ее аналогов.

Если рабочей средой является кислород, то особо важную роль занимает безопасность работы оборудования. В соответствии с ГОСТ 5583-78 «Кислород газообразный технический и медицинский» кислород нетоксичен, не горюч и не взрывоопасен, однако является сильным окислителем, резко увеличивает способность некоторых материалов к горению. Смеси газообразного кислорода с горючими газами взрывоопасны. Смазочные материалы и жировые загрязнения поверхностей, контактирующие с кислородом, могут послужить причиной для возгораний. Выбор материалов осуществляется исходя из ГОСТ 12.2.052-81 «Система стандартов

Название материала	Плотность, кг/м³	Температура использования, С°	Удельное сопротивление, Ом*м	Растяжение, МПа	Твёрдость по Шору
Фторопласт 3	2090...2160	– 195...+190	1015...1017	35...43	D80
Фторопласт 4	2150...2240	– 260...+160	1017...1018	16...35	D50
Фторопласт 40	1700	– 200...+200	1016	27...50	D55

Таблица 2. Технические характеристики фторопластов

безопасности труда. Оборудование, работающее с газообразным кислородом. Общие требования безопасности». Уплотнительные материалы из фибры, капрона, резины, пластмассы и др. могут легко воспламеняться в среде кислорода высокого давления при появлении источника загорания (искры, ударной волны и т.п.). Из металлов интенсивно горят в кислороде титан, алюминий и его сплавы, углеродистые и нержавеющие стали. Медь и ее сплавы не горят в кислороде, но при воздействии источников большой энергии (при горении неметаллического материала) возможно оплавление медных, латунных и бронзовых деталей. Использование таких марок металлов как Л63, Л80, БрКМЦ3-1, БрОц4-5 позволит обезопасить оборудование от возможного возгорания.

Герметичность затвора проверяется на экспериментальном стенде пузырьковым методом с захлаживанием до температуры рабочей среды при давлении на 15% больше рабочего. Вся линейка запорной арматуры для криогенных сред компании MV&F имеет «А» класс герметичности.

В ассортименте MV&F имеется как ручная, так и приводная запорная криогенная арматура для криогенных сред со следующими типоразмерами: Ду1, Ду4, Ду6, Ду10, Ду11 и рабочим давлением до 420 бар. Рабочий диапазон температур составляет от -196°С до +75 °С. Рассмотрим подробнее особенности и примеры применения следующих типов криогенных клапанов высокого давления: запорные вентили и клапаны, предохранительные и обратные клапаны.

Криогенные запорные вентили высокого давления

Криогенный запорный вентиль высокого давления серии KB (рисунок 1) предназначен для перекрытия потока криогенных жидкостей и газов на трубопроводах высокого давления.

Конструкция клапана обеспечивает герметичное закрытие и длительный срок службы. При работе с кислородом применяется исполнение клапана из латуни.

Характеристики ручного клапана серии KB:

- Размеры: Ду от 2 до 10;
- Температурный диапазон: от -196°С до +75°С;
- Рабочее давление (при криогенной температуре):



Рисунок 1. Криогенный ручной клапан серии KB Ду10, PN420

Артикул	Присоединение	Dy	Cv
KB1			
KB1-F-2N	NPT 1/8" (внутренняя)	4,3	0,37
KB1-M-2N	NPT 1/8" (наружная)	4,3	
KB1-M-4N	NPT 1/4" (наружная)	4,3	
KB2			
KB2-F-4N	NPT 1/4" (внутренняя)	6,3	0,73
KB2-MF-4N	NPT 1/4" (наружная) NPT 1/4" (внутренняя)	6,3	
KB2-M-6N	NPT 3/8" (наружная)	6,3	
KB3			
KB3-F-6N	NPT 3/8" (внутренняя)	9,5	1,8

Таблица 3. Информация для заказа криогенных ручных клапанов серии KB

Артикул	Присоединение	Dy	Cv
KB1-M			
KB1-F-2N	NPT 1/8" (внутренняя)	4	0,35
KB1-F-4N	NPT 1/4" (внутренняя)		
KB1-M-4N	NPT 1/4" (наружная)		
KB1-MF-4N	NPT 1/4" (наружная) NPT 1/4" (внутренняя)		
KB2-M			
KB2-F-4N	NPT 1/4" (внутренняя)	6,4	0,86
KB2-F-6N	NPT 3/8" (внутренняя)		
KB3-M			
KB3-F-8N	NPT 1/2" (внутренняя)	11	2,2
KB3-F-12N	NPT 3/4" (внутренняя)		
KB3-F-16N	NPT 1" (внутренняя)		
KB3-MF-8N	NPT 1/2" (наружная)		
	NPT 1/2" (внутренняя)		
KB3-MF-12N	NPT 3/4" (наружная)		
	NPT 3/4" (внутренняя)		
KB3-MF-16N	NPT 1" (наружная) NPT 1" (внутренняя)		

Таблица 4. Информация для заказа криогенных ручных клапанов серии KB-M

до 420 бар (12Х18Н10Т), до 240 бар (Латунь Л63).

Информация для заказа криогенных ручных клапанов серии KB представлена в таблице 3.

Криогенные запорные вентили высокого давления серии KB-M (рисунок 2) используются в проектах с особыми требованиями к чистоте рабочей среды. В конструкции клапана KB-M резьба находится после сальникового уплотнения и не имеет контакта с рабочей средой. Клапаны этой серии обладают повышенным показателем надёжности и плавности перемещения затвора, за счёт расположения ходо-



Рисунок 2. Криогенный ручной клапан серии KB-M Ду6, PN420

вой резьбы в теплой зоне.

По сравнению с клапанами серии KB имеют более плавную характеристику регулирования и более высокий коэффициент пропускной способности при полном открытии и могут использоваться в пневмогидравлических системах с особыми требованиями к потерям давления рабочей среды. Характеристики ручного клапана серии KB-M:

- Размеры: Ду от 4 до 11;
- Температурный диапазон: от -196°С до +75°С;
- Рабочее давление (при криогенной температуре): до 420 бар.

Информация для заказа криогенных ручных клапанов серии KB-M представлена в таблице 4.

Стоит отметить, что представленные клапаны обладают лучшей регулирующей характеристикой относительно шаровых кранов, задвижек и дисковых затворов, благодаря тому, что затвор клапана перемещается параллельно оси потока среды в результате чего проходное сечение открывается равномерно и более плавно.

Криогенные запорные клапаны высокого давления

Криогенный запорный клапан серии KB-P, представленный на рисунке 3, оснащен нормально закрытым пневматическим приводом. Размер и соответственно усилие пневматического привода подбирается исходя из рабочего давления среды. Управление пневмоприводом осуществляется с помощью электромагнитного или ручного пневматического управляющего клапана. Давление управления пневмоприводом от 6 до 10 бар. Если в системе необходимо предусмотреть ручное дублирование, то дополнительно можно установить криогенный клапан высокого давления с ручным приводом серии KB, или KB-M.



Рисунок 3. Криогенный клапан с пневмоприводом серии KB-P Ду1, PN420

Характеристики клапана с пневмоприводом серии KB-P:

- Размеры: Ду1;
- Рабочее давление: до 420 бар;
- Температурный диапазон: от -196°С до +75°С;
- Давление открытия пневмопривода: от 6 до 10 бар.

Важной особенностью является то, что конструкция представленных криогенных вентиляй и клапанов высокого давления MV&F позволяет осуществлять осмотр и ремонт внутренних элементов без демонтажа клапана из трубопровода. Таким образом, при негерметичности сальника в ходе эксплуатации клапана, его можно заменить, сняв рукоятку и открыв верхнюю гайку штока. Негерметичность затвора устраняется путём замены шпindelной группы, также без демонтажа корпуса клапана из трубопровода.

Для криогенной арматуры применяются особые процедуры хранения. Ее необходимо защитить от грязи и влаги. Кроме того, арматура должна пройти продувку (в рамках испытаний системы, если это требуется) при установке на месте эксплуатации, так как очень сложно, а порой и невозможно удалить атмосферную влагу из застойных зон. А если в арматуре будет присутствовать влага, она попросту замерзнет во время эксплуатации, что приведет арматуру в нерабочее состояние. Поэтому специалисты компании MV&F проводят меры подготовки и очистки перед отправкой, или установкой арматуры в систему.

Криогенные предохранительные клапаны высокого давления

Криогенный предохранительный клапан серии 329 (рисунок 4) - это продукция, выпускаемая компанией MV&F при поддержке известной британской компании Seetru. Клапаны предназначены для работы с природным газом и продуктами разделения воздуха высокого давления. Идеально подходят для установки на баллонные аккумуляторы газа, криогенные поршневые насосы высокого давления, компрессоры, резервуары и трубопроводы. Эти клапаны изготавливаются из бронзы, или нержавеющей стали с широким диапазоном присоединений, для использования при рабочих температурах от -196 °С до +70°С. Рабочей средой для клапана 329 серии могут являться: воздух, азот, аргон, гелий, природный газ, водород, CO₂, кислород. При изготовлении клапанов на кислород применяются обезжиренные корпусные детали из бронзы.

Сотрудничество MV&F с компанией Seetru Limited позволило достичь не только высокого качества выпускаемой продукции, но и начать совместную разработку предохранительных клапанов с рабочим давлением до 1000 бар.



Рисунок 4. Криогенный предохранительный клапан серии 329 Ду6, PN370

Характеристики предохранительного клапана серии 329:

- Размеры: Ду6;
- Температурный диапазон: от -196°С до +200°С;
- Рабочее давление (при криогенной температуре): до 370 бар.

Информация для заказа криогенных предохранительных клапанов высокого давления серии 329 представлена на рисунке 5.

В таблице 5 представлены значения пропускной способности по воздуху предохранительного клапана для различных давлений настройки.

329 - 06 - 6G - 12N - P - B S - ***bar - **

Клапан серии 329
Рнастр. = 53...370 бар
Траб. = -196°С...+70°С

Ду: 06 - 6мм

Подсоединение на входе:
4 - 1/4"
6 - 3/8"
8 - 1/2"
12 - 3/4"
G - BSPP
R - BSPT

Подсоединение на выходе:
12 - 3/4"
G - BSPP
N - NPT

Уплотнение:
P - PTFE

Материал седла:
S - 316 нерж.
B - латунь

Дополнительные опции:
OX - кислородная очистка

Материал корпуса:
S - 316 нерж.
B - бронза

Давление настройки

Рисунок 5. Информация для заказа криогенного предохранительного клапана серии 329

Уплотнительный элемент затвора предохранительного клапана (ПК) изготавливается из фторопласта. Точная настройка давления срабатывания осуществляется на специализированном оборудовании производства MV&F (рисунок 6).



Рисунок 6. Стенд для настройки и пневмоиспытаний предохранительных клапанов

Криогенные обратные клапаны высокого давления

Обратный клапан серии КО на (рис. 7) предназначен для недопущения изменения направления потока криогенных жидкостей и газов в трубопроводах высокого давления. Конструкция обратного клапана обеспечивает герметичное перекрытие и длительный срок службы. В случае отклонения давления настройки от требуемого, можно повторно перенастроить клапан, обратившись в компанию МВиФ. Клапан доступен в исполнении из латуни для работы с кислородом. Давление открытия обратного клапана серии КО можно настроить в пределах от 0,2 бар до 41,4 бар.

Характеристики обратного клапана серии КО:

- Размеры: Ду от 4,8 до 10,0 мм.
- Температурный диапазон: от -196°С до +75°С;
- Рабочее давление (при криогенной температуре): до 420 бар (12Х18Н10Т), до 240 бар (Латунь Л63).

Информация для заказа криогенных обратных клапанов высокого давления представлена в таблице 6.

Обратные клапаны серии КО-С (рисунок 8) обладают более высокой пропускной

Давление настройки, бар	53	63	83	100	150	200	250	300	350	370
Пропускная способность, м³/ч	856	1015	1334	1603	2397	3191	3985	4780	5574	5891

Таблица 5. Пропускная способность предохранительного клапана серии 329

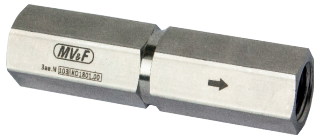


Рисунок 7. Криогенный обратный клапан серии КО Ду6,3 PN420

способностью по сравнению с обратными клапанами серии КО и могут применяться в системах, где необходимо минимизировать потери давления при прохождении рабочей среды по пневмогидравлическому тракту.

Характеристики обратного клапана серии КО:

Артикул	Присоединение	Ду	Сv
K01			
K01-F-4N	NPT 1/4" (внутренняя)	4,8	0,35
K01-M-4N	NPT 1/4" (наружная)		
K02			
K02-F-8N	NPT 1/2" (внутренняя)	10,0	1,2
K02-M-8N	NPT 1/2" (наружная)		

Таблица 6. Информация для заказа криогенных обратных клапанов серии КО

Артикул	Присоединение	Ду	Сv
КО-С1			
КО-С1-Ф-2N	NPT 1/8" (наружная)	4,8	0,67
КО-С1-Ф-4N	NPT 1/4" (внутренняя)		
КО-С1-М-4N	NPT 1/4" (наружная)		
КО-С2			
КО-С2-М-6N	NPT 3/8" (внутренняя)	7,8	1,8
КО-С2-Ф-6N	NPT 3/8" (наружная)		
КО-С2-Ф-8N	NPT 1/2" (внутренняя)		
КО-С2-М-8N	NPT 1/2" (наружная)		
КО-С3			
КО-С3-Ф-12N	NPT 3/4" (внутренняя)	15	4,7
КО-С3-М-12N	NPT 3/4" (наружная)		
КО-С3-М-16N	NPT 1" (наружная)		

Таблица 7. Информация для заказа криогенных клапанов серии КО-С

Корпусные детали	AISI316 Латунь Л63 (240 бар)	AISI316
Уплотнительный элемент затвора	Фторопласт-3 (PCTFE)	Фторопласт-3 (PCTFE)
Затвор	AISI316	AISI316
Пружина	AISI316 Бронза БрКМц3-1 (240 бар)	AISI316
Регулировочная гайка	AISI316	AISI316

Таблица 8. Материалы деталей обратных клапанов серии КО и КО-С

на серии КО-С находится в диапазоне от 0,41 бар до 1,1 бар. Материалы деталей криогенных обратных клапанов высокого давления серии КО и КО-С представлены в таблице 8.

Пример применения криогенных клапанов высокого давления в составе поршневой насосной криогенной установки высокого давления представлен на рисунке 9. Установка перекачивает такие криогенные жидкости как азот, аргон, кислород, углекислоту, этилен и СПГ.

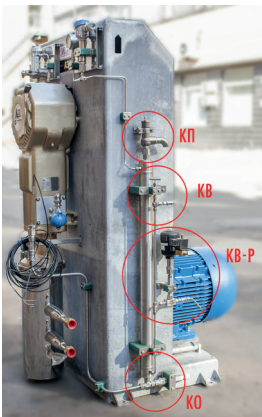


Рисунок 9. Криогенная насосная установка высокого давления

Предохранительный клапан (КП) высокого давления серии 329 устанавливается на линию нагнетания для предупреждения повышения давления выше расчетного. Также для сброса рабочей среды используется запорный криогенный клапан высокого давления с ручным (KB) и пневматическим приводом (KB-P). Обратный клапан высокого давления (КО) устанавливается на выходе из установки и необходим для предотвращения возникновения обратного потока и защиты от повреждения проточной части насоса.

Специалисты MV&F продолжают расширять ассортимент и изготовление запорной арматуры для криогенного использования, что является одним из основных направлений деятельности компании.

Представленная криогенная арматура эксплуатируется в условиях низкой температуры и высокого давления. Такая арматура должна обладать высокими показателями надёжности, безотказности и безопасности. Если Вам нужна помощь в подборе криогенных клапанов высокого давления, то Вы можете обратиться в компанию MV&F, наши специалисты окажут консультацию и помогут выбрать подходящее оборудование.

АВТОР СТАТЬИ

Малов Дмитрий, инженер-конструктор сектора теплообменного оборудования и арматуры, ООО «Мониторинг вентиль и фитинг» (MV&F)