

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ развития криогенного оборудования в линейке АО «Машиностроительной Корпорации «Сплав»

Основные требования к криогенной арматуре

Криогенная рабочая среда – это группа газов и жидкостей с температурой ниже -70°C .

Специфика криогенных сред предъявляет свои требования к конструкции криогенной арматуры, что отличает ее от арматуры, применяемой при других условиях эксплуатации.

Существуют общие требования, предъявляемые ко всем видам арматуры для низких температур:

1. Материалы, используемые при изготовлении арматуры, должны гарантировать работоспособность арматуры при сверхнизких температурах.
2. Для обеспечения тепловой связки («теплового моста»), исполнение должно быть, как правило, с удлиненным сильфонным шпинделем. Также данное исполнение необходимо 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. Расстояние от оси трубопровода до теплой зоны принимается 400 мм и более.
3. Установленная на трубопроводе арматура должна иметь теплоизоляцию для уменьшения теплопритока к рабочей среде из внешней среды, что может привести к ее нагреву, тем самым изменит рабочие параметры среды (агрегатное состояние, температуру и давление).
4. Внутренние поверхности арматуры должны быть очищены по особой методике для возможности использования сред, а степень очистки проверена и подтверждена специальными лабораториями. Так как речь идет об опасных рабочих средах, то совсем не удивительно, что криогенной арматуре уделяется особое внимание.

Специальная арматура для низких температур обязательно должна проходить также специальные криогенные испытания, которые важны для подтверждения того, что:

1. Размер удлиненного шпинделя и высота тепловой изоляции достаточны, а набивка сальника находится при нормальной температуре.
2. Герметичность в затворе соответствует заданным требованиям.
3. Утечки во внешнюю среду находятся в пределах допустимых величин.
4. Особое внимание уделяется очистке арматуры для кислородной среды от различных масел, для увеличения безопасности.

Разработки в линейке криогенной арматуры АО «Корпорации «Сплав»

В «портфеле» Корпорации «Сплав» представлена полная линейка клапанов DN от 6 до 400 и кранов шаровых с верхним разъемом DN от 10 до 300 на температуру от 15 К.

Первыми разработками Корпорации «Сплав» в технике низких температур являлась арматура по проекту для программ Индийской космической организации исследований ISRO, Заказчиком которого выступил ФГУП «НИИМАШ» – ведущее предприятие российской ракетно-космической отрасли в области создания и изготовления ракетных двигателей малой тяги для управления полетом космических аппаратов различного назначения (г. Нижняя Салда) – еще в 2005 году.

Заказчик обратился с вопросом проектирования арматуры на критичную рабочую среду. Будущая криогенная арматура предназначалась для обеспечения безопасной эксплуатации криогенных емкостей высокого давления (КЕВД) для индийского космодрома Махендрагири.

Одновременно с запросом от НИИМАШ поступило еще одно обра-

щение в адрес Корпорации от одного из подразделений Корпорации Linde с запросом на разработку и производство нестандартного оборудования, а именно криогенных сальфонных клапанов с ручным приводом и пневмоприводом и обратных клапанов для рабочих сред: азот, кислород, гелий – с температурным диапазоном от 15 К на рабочее давление до 40 МПа.

Проектный институт «Атомарм-проект» принялся за разработку необходимой арматуры под оба проекта практически одновременно, так как технические задания были схожи.

К специальной арматуре были предъявлены особые общие требования:

1. Арматура должна быть работоспособной в условиях применения паров криогенных жидкостей и их паров, отвечающих требованиям:
 - пары жидкого кислорода (ГОСТ 6331-78 сорт 2 на кислород);
 - пары жидкого водорода;
 - воздух и азот, категория 1 по ОСТ 92-1577-78.
2. Уплотнение шпинделя относительно окружающей среды должно осуществляться сальфоном с дублирующей сальниковой набивкой. Арматура, предназначенная для эксплуатации на трубопроводах с расчетным давлением 44 МПа, может быть выполнена с сальниковым уплотнением по штоку и дублирующим сальниковым уплотнением, причем для этого случая должна быть предусмотрена возможность контроля протечек через основной сальник.

Согласно двум проектам Корпорация «Сплав» должна была разработать и произвести специальные клапаны на различные рабочие среды различных диаметров от 6 до 150 мм и рабочее давление от 20 МПа. Среди всего перечня номенклатуры присутствовала как раз новая для Корпорации криоген-

ная арматура, способная работать при температуре от 15 К.

ПКТИ «Атомармпроект», входящий в состав Корпорации «Сплав», обладая большим опытом в разработке специальных изделий в области машиностроения, нашел решения на поставленные перед Корпорацией задачи.

Ключевой разработкой данных проектов явились **криогенные клапаны с удлиненным шпинделем и управлением рукояткой или пневмоприводом в защитном кожухе и без него** DN от 6 и PN до 40 МПа на рабочую среду: газообразный водород и кислород (**криогенные сальфонные клапаны**). Данное устройство способно безотказно работать при T= 15–350 К (рис. 1, 2, 3).

Как и в любой арматуре для сверхкритических параметров, особое внимание было уделено подбору материала для изготовления корпуса и составляющих клапанов.

Материалом исполнения корпуса клапана была выбрана нержавеющая коррозионноустойчивая сталь (ст. 08X18H10T – по требованию Заказчика были запрошены стали

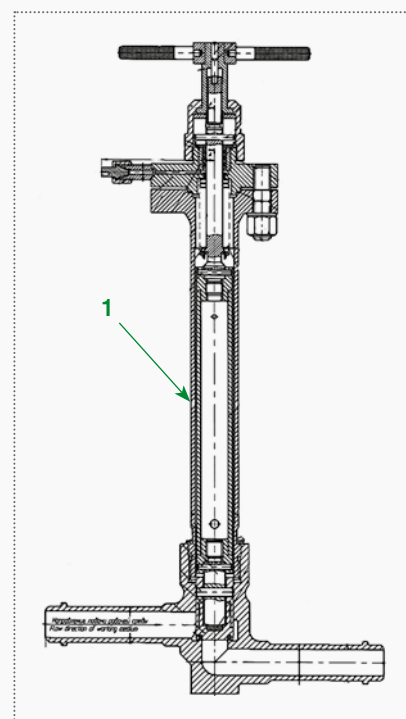


Рис. 1. Криогенный клапан с рукояткой

по стандарту ANSI, но проведенные испытания в центральной заводской лаборатории на механические свойства доказали, что применение данной стали не чуть не хуже, а по многим параметрам даже лучше (запрашиваемых материалов), а материал седла на высокое давление был выбран поликарбонат и фторопласт. Поликарбонат, наряду с фторопластом, был в перечне уплотнительных материалов в техническом задании. Сочетания температурного режима и высокого давления при расчетах указывали на необходимость применения именно поликарбоната в силу того, что при запрашиваемых рабочих параметрах физические свойства поликарбоната сохраняются лучше, а при низком давлении использовали фторопласт. Выбранные материалы способствуют безотказной работе криогенного оборудования при сверхнизких температурах.

Так как необходимо сбалансировать резкую смену температурных режимов работы арматуры, то с помощью **удлинения шпинделя 1** стало возможным создать комфортный режим работы клапанов. Удлиненный шпиндель не дает теплового воздействия на рабочую среду.

Опытными конструкторами собственного проектного института были выполнены сложные расчеты на сейсмостойкость, теплоотдачу и механическую устойчивость **удлиненного шпинделя с сильфонным уплотнением**, состоящим из **двух сильфонов 2** (рис. 2), соединенных между собой **втулкой**. Данная конструкция также позволила обеспечить необходимый рабочий ход штока для открытия клапана.

МК «Сплав» имеет собственное производство сильфонов, таким образом, сильфонный узел в представленных криогенных клапанах выполнен полностью силами завода «Контур», который входит в ее состав. Специально для данных проектов был произведен расчет конструкции изделий, самостоятельно изготовлена оснастка для производства сильфо-

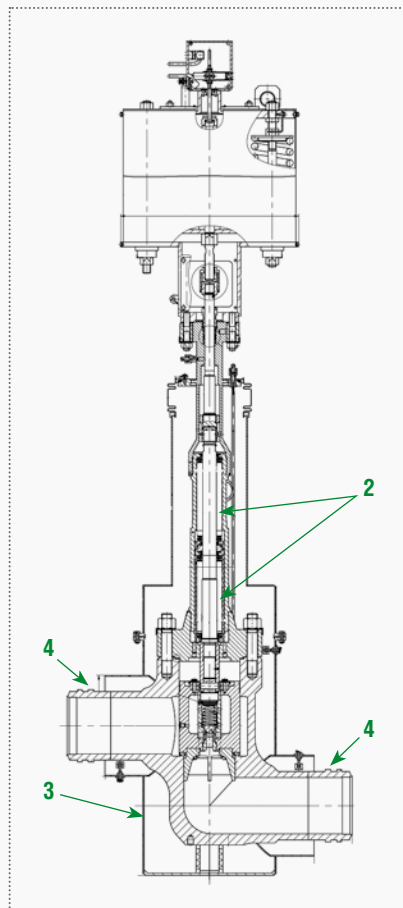


Рис. 2. Криогенный клапан с пневмоприводом и защитным кожухом

нов и, в конечном итоге, произведен сильфонный узел конкретно под данные проекты.

Для решения следующей интересной задачи, а именно теплоизоляции арматуры, чтобы устранить тепловое воздействие из внешней среды, институту «Атомармпроект» пришлось обратиться за помощью к специалистам ГК «Роскосмос», по рекомендации ФГУП НИИМАШ. Решение заключалось в следующем: корпуса арматуры обшивались специальными многоволоконными матами и закрывались металлическими кожухами 3 (оболочками), пространство под оболочкой вакуумировалось и создавалась эффективная **экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ)** (рис. 2). В начале разработки специалисты Корпорации ознакомились с технологией ЭВТИ, применяемой для ракетной техники на самом предприятии в г. Королёв, а уже после этого адаптировали ее для арматуры по проекту и с по-

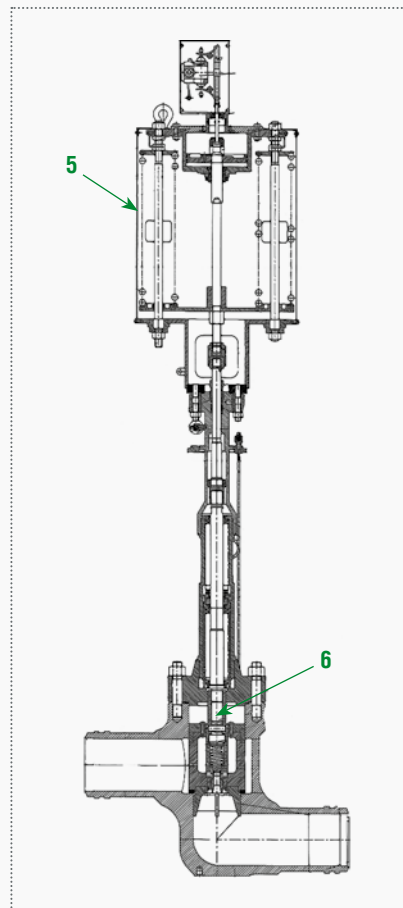


Рис. 3. Криогенный клапан с пневмоприводом

мощью специалистов из г. Королёв реализовали свои решения на практике.

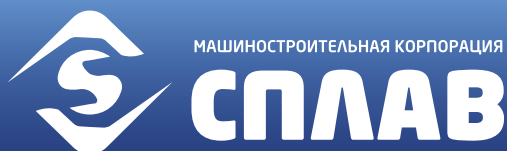
Необходимо отметить, что с целью обеспечения безопасной работы оборудования, при обвязке арматуры в блоках, защитные кожухи арматуры соединялись с кожухами трубопровода через сильфонные компенсаторы 4, разработанные и изготовленные в Корпорации «Сплав».

Силами собственных специалистов по пневмоприводам Корпорации «Сплав» удалось решить еще одну задачу относительно разработки и **изготовления специальных приводов 5** (рис. 3) с увеличенным управляющим давлением (5 МПа), исключив закупки на стороне.

Специальные пневмоприводы обладают малыми габаритными размерами, так как, чем выше управляющее давление, тем меньше диаметр поршня. Данное свойство, несомненно, дает огромный плюс при использовании их в арматуре на криогенные

«Машиностроительная Корпорация «СПЛАВ» – производство полного цикла арматуры

КАЧЕСТВО ОТ ПРОЕКТА ДО ПОСТАВКИ



МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ

СПЛАВ

www.mksplav.ru

- Трубопроводная арматура и оборудование для атомных станций DN до 500, PN до 24,5 МПа
- Трубопроводная арматура и оборудование для объектов нефтяной, газовой и химической промышленности DN до 200, PN до 40 МПа
- Криогенная и специальная трубопроводная арматура DN до 350, PN до 22 МПа, Т от 15 К
- Регуляторы давления газа для магистральных газопроводов DN до 150, PN до 10 МПа
- Сильфоны и компенсаторы DN до 1600, PN до 6,3 МПа
- Трубопроводная арматура для железнодорожных цистерн и танк-контейнеров на различные среды (аммиак, СУГ, метанол и пр.)

Предприятие с 40-летней историей

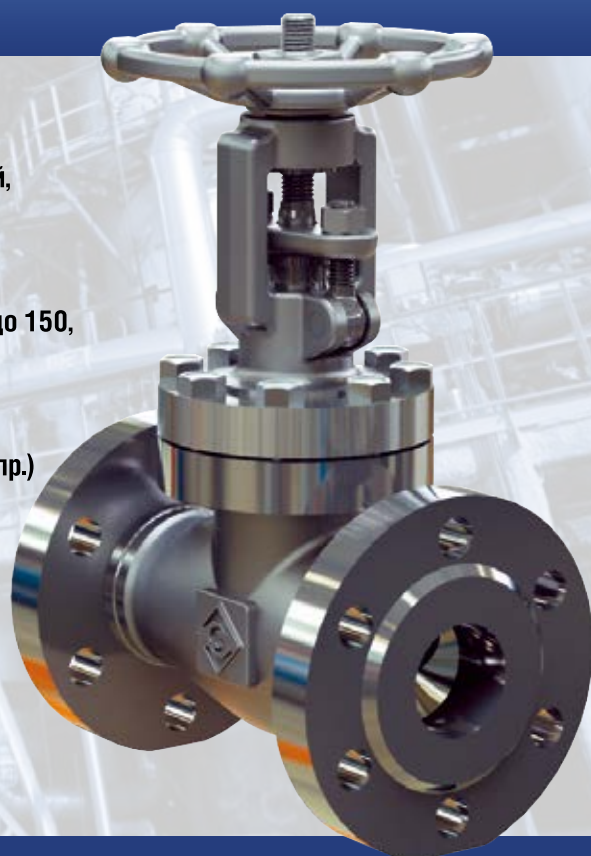
100 000 м² – размер общих производственных площадей

Более 600 единиц разнопрофильного технологического оборудования

100% продукции проходит испытания

в собственном уникальном испытательном центре

Разработка и адаптация арматуры под требования Заказчика собственным проектно-конструкторским институтом



среды. Раньше силами Корпорации «Сплав» разрабатывались пневмоприводы с управляющим давлением 0,6 МПа – это стандартное давление в цеховых сетях. В рамках технических условий проектов запрашивались именно пневмоприводы с управляющим давлением выше, а именно 5,0 МПа.

С целью уменьшения массогабаритных характеристик арматуры, в том числе и приводов, был применен **пилотный (внутренний) клапан 6** для клапанов с подачей рабочей среды на золотник, при открытии которого, выравнивалось давление в корпусе и резко снижалось усилие в штоке. Данная главная особенность криогенных клапанов производства МК «Сплав» помогла снизить усилия при управлении самим клапаном, а также уменьшить шум при открытии затвора.

Следующим, нетрадиционным для Корпорации решением при выполнении проектов для НИИМАШ и Linde, стала **очистка (обезжиривание) арматуры под среду кислород**. Очень ответственная технологическая операция с выставлением специальных требований от Заказчика с успехом была решена технологической службой Корпорации. Были подобраны специальные моющие растворы, технологическое оборудование, самостоятельно спроектирована и изготовлена необходимая оснастка. Вся операция тщательно контролировалась специалистами компании «Криомаш» (г. Балашиха), так как именно их заключения, которые прикладывались к паспортам качества изделий, принимались Заказчиком и немецкой компанией TUV SUD, которая была приглашена Заказчиком как третья сторона на осуществление независимой экспертизы и приемки товара.

Вся процедура заключалась в следующем:

- обезжиривание всей арматуры на территории завода «Контур»;
- представители «Криомаш» брали пробу с внутренней поверхности

корпусов каждой единицы арматуры, и в герметичной упаковке она отправлялась в специальную лабораторию в г. Балашиха.

- после проведения анализа «Криомаш» выдавал заключение соответствия, которое и прикладывалось к паспортам.

Заключительной стадией проекта стали испытания произведенной криогенной арматуры. Заключительной операции приемосдаточных испытаний предшествовали многочисленные испытания, связанные с криогенным характером арматуры:

1. На герметичность рабочей полости клапанов, внешнего кожуха, при его наличии.
2. На термоустойчивость (захолаживание до криогенных температур). Работоспособность самой арматуры и ее частей, в т. ч. крепежа, проверялась в среде жидкого азота. Такие испытания являются обычной практикой. Происходит погружение арматуры в жидкий азот до уровня сальниковой набивки. Набивка не должна находиться в жидком азоте, иначе она замерзнет, что может привести к заеданию штока, и арматуру заклинит.
3. Гидравлические испытания. Конструкция арматуры должна выдерживать воздействие гидроудара на внутренние полости. Все криогенные испытания арматуры проводились на площадке завода «Контур». Специально под проект были разработаны стенды и оснастка для испытаний специального оборудования.

Поскольку арматура является одним из важнейших элементов безопасности промышленных систем, как производители, так и конечные ее пользователи полностью отвечают за проведение необходимых испытаний на прочность и герметичность, особенно это касается арматуры, предназначенной для критических условий эксплуатации.

Криогенная арматура производства МК «Сплав» прошла тщательный



Рис. 4. Криогенный клапан с пневмоприводом при испытаниях азотом

контроль и принята немецкой компанией "TUV SUD". Получено согласование с конечным Заказчиком – Индийской организацией по исследованию космоса ISRO.

По дополнительному договору с Заказчиком (НИИМАШ), криогенные клапаны были смонтированы нами в целостные арматурные блоки и уже в собранном виде были поставлены в адрес конечного потребителя (рис. 5, 6). Монтаж на космодроме готовых технологических модулей (блоков) позволил значительно снизить себестоимость проекта в целом. С целью снижения затрат на транспортировку блоков нашими разработчиками с успехом была решена задача компоновки блоков для их отправки в стандартных контейнерах. При монтаже арматуры в блоки появилась необходимость применения системы сильфонных компенсаторов. Специально под данное условие на территории завода «Контур» были рассчитаны и изготовлены конструкции угловых и линейных сильфонных компенсаторов в вакуумном защитном корпусе и без него в зависимости от того, на какую систему они будут монтироваться (криогенная или нет). Установка компенсаторов способствовала уменьшению тепловых деформаций трубопровода (рис. 5).



Рис. 5. Арматурные блоки с сильфонными угловыми компенсаторами из клапанов для проекта НИИМаш



Рис. 6. Арматурные блоки криогенных клапанов

Все испытания и эксплуатация показали, что решения и расчеты выполнены верно, а Корпорация получила второй заказ на поставку криогенного оборудования для индийского космодрома Махендрагири.

Таким образом, благодаря заслугам высококвалифицированных специалистов Корпорации удалось произвести такие криогенные клапаны, конструкция и качество которых удовлетворили требования всех сторон и стандартов, как российских, так и зарубежных, что указывает на высокий уровень Корпорации «Сплав» в области машиностроения.

Перспективные разработки в линейке криогенной арматуры

После успешной поставки и эксплуатации криогенной арматуры у конечного заказчика – ISRO, «Сплав» был внесен в реестр рекомендованных поставщиков Индийской Ассоциации по исследованию космоса, после чего в адрес «Сплава» снова обратилось одно из подразделений компании Linde с запросом разработки и изготовления уникального оборудования, а именно сильфонных клапанов до DN 400 PN 20 МПа для нужд индийского космодрома Махендрагири. Рабочая среда новой

конструкции будет жидкий кислород с температурой 75 К.

Данный вид арматуры обеспечивает более надежную герметичность относительно шаровых кранов при высоких давлениях, что является главным преимуществом клапана перед шаровым краном. Это достигается путем применения специальных уплотнительных колец, а также установки сильфонного уплотнения с дублирующим сальником. Следующим преимуществом клапана относительно шарового крана можно отметить его более простую ремонтнопригодность. Верхняя крышка позволяет ремонтировать клапан без вырезки из трубопровода, что приводит к снижению себестоимости ремонтной части.

Этот проект уникален для российского рынка, так как ни один производитель не изготавливает оборудование с подобным сочетанием технических требований и наличием сильфонного уплотнения.

На сегодняшний день начата работа над новым проектом. Корпорация «Сплав» полностью готова провести полную разработку конструкции и полный цикл изготовления, в том числе и сильфонной сборки.

Сильфонная сборка пройдет полный цикл производства от проекта до изготовления, так как одно

из ведущих направлений МК «Сплав» является именно сильфонное производство. Высококвалифицированные специалисты проводят расчетные работы и произведут оснастку именно под данный проект.

После анализа запросов на арматуру для нужд Махендрагири-2 и прошлых разработок было принято решение о начале разработки нового для Корпорации вида криогенной арматуры – это криогенный шаровый кран с верхним разъемом. За основу будет взят шаровый кран для АЭС и доработан под сверхкритические рабочие среды. Применение верхнего разъема (крышка – корпус) в конструкции позволяет значительно снизить затраты на ремонт, поскольку доступ к внутренним частям крана осуществляется через легкосъемную крышку максимально оперативно, без демонтажа оборудования из трубопровода.

Данные проекты помогут расширить представленную линейку уникальной криогенной арматуры, что приведет к укреплению позиций и увеличению конкурентоспособности Корпорации не только среди российских производителей, но и ведущих мировых производителей криогенной арматуры.

Материал подготовлен АО «Корпорация «Сплав»