

УДК 621.646.2

Разработка запорного криогенного клапана с ручным приводом и магнитной муфтой

Усс Александр Юрьевич

uss25.ru@mail.ru

Гусев Александр Владиславович

alex.goose987@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В целях импортозамещения образцов зарубежной криогенной арматуры в данной работе проведен анализ технических решений запорных криогенных клапанов фирмы Herose. Предложена новая конструкция запорного клапана с использованием магнитной муфты, при помощи которой передается крутящий момент от маховика клапана к приводу без использования сальникового или сильфонного уплотнения. Предложенное техническое решение позволяет повысить ресурс клапана и предотвратить превышение крутящего момента за счет проскальзывания магнитной муфты. Разработана трехмерная модель модернизированного клапана, макетный образец изготовлен с использованием аддитивных технологий.

Ключевые слова: запорно-регулирующая арматура, криогенный клапан, магнитная муфта

Development of a manually operated cryogenic shut-off valve with a magnetic clutch

Uss Alexander Yurievich

uss25.ru@mail.ru

Gousev Alexander Vladislavovich

alex.goose987@gmail.com

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. In order to substitute foreign cryogenic valves for import, this paper analyzes the technical solutions of shut-off cryogenic valves from the company “Herose”. A new design of a shut-off valve is proposed using a magnetic clutch, which transmits torque from the valve flywheel to the drive without using a gland or bellows seal. The proposed technical solution allows increasing the valve service life and preventing excess torque due to magnetic clutch slippage. A three-dimensional model of the upgraded valve has been developed, and a prototype has been manufactured using additive technologies.

Keywords: shut-off and control valves, cryogenic valve, magnetic clutch

Введение. Криогенные технологии являются стратегически важным направлением, связанным с развитием таких значимых отраслей экономики Российской Федерации, как авиация, медицина, химия. Это подтверждает актуальность разработки новых и улучшения показателей имеющихся криогенных установок, работа которых обеспечивается, в том числе запорно-регулирующими устройствами. В ходе работы был проведен обзор, используемой в настоящее время на территории РФ криогенной арматуры, сформирована статистика, подтверждающая наличие потребности рынка в криогенной арматуре (табл. 1).

Таблица 1

Статистика по обзору рынка криогенной арматуры

№	DN, мм	Количество	%	№	DN, мм	Количество	%
1	10	1070	26	7	50	579	14,1
2	15	451	10,97	8	65	223	5,42
3	20	1	0,024	9	80	5	0,12
4	25	1388	33,78	10	100	13	0,316
5	32	151	3,67	11	150	2	0,048
6	40	226	5,5	СУММА		4109	100

Задачи оптимизации при разработке криогенных клапанов:

- минимизация тепловых притоков из внешней среды в корпус клапана;
- минимизация потерь давления при прохождении среды через проточную полость клапана;
- уменьшение массогабаритных показателей при сохранении прочностных;
- повышение надежности и долговечности клапана;
- повышение технологичности клапана;
- уменьшение энергозатрат на управление клапаном.

Среди криогенных клапанов в установках, предназначенных для хранения и транспортировки криогенного продукта, можно выделить клапаны немецкой компании Herose. На рис. 1 представлен рассматриваемый клапан DN 15 PN 50, тип 01321, класс герметичности А, температура рабочей среды — 77–393, рабочая среда — N_2 , H_2 , O_2 , сжиженный природный газ.

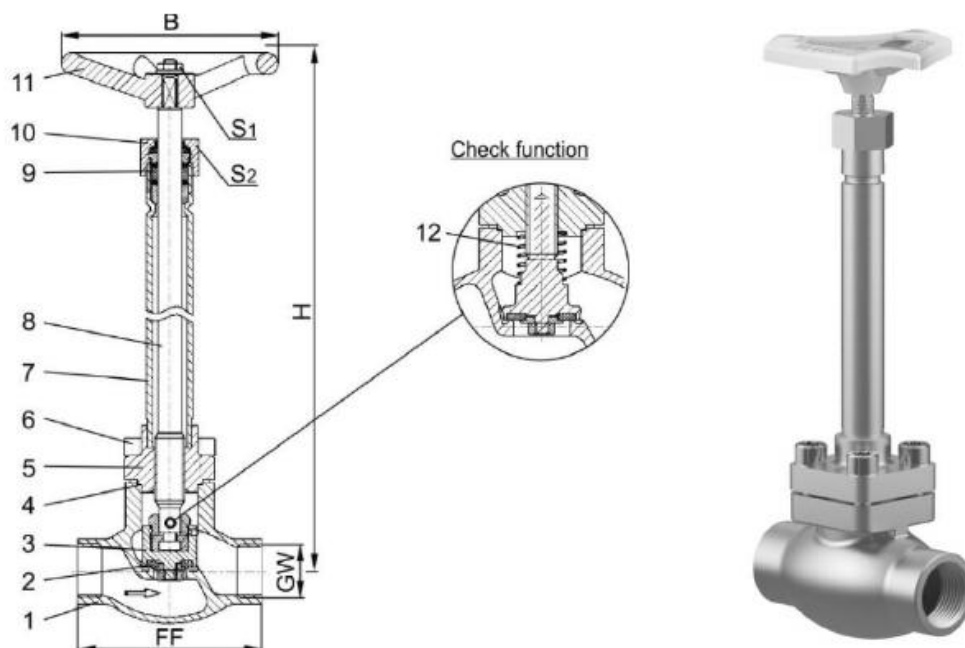


Рис. 1. Криогенный клапан фирмы HEROSE:

- 1 — корпус; 2 — уплотнение клапана; 3 — клапан; 4 — прокладка; 5 — группа шпindelная; 6 — винты; 7 — труба; 8 — шток; 9 — сальниковое уплотнение; 10 — сальниковая гайка; 11 — маховик; 12 — пружина

Цель работы — разработка криогенного клапана на основе образца компании Herose.

Задачи: выявить преимущества и недостатки рассматриваемых образцов, предложить техническое решение, устраняющее выявленные недостатки, собрать макетный образец.

Материалы и методы. Подвижное уплотнение обладает ограниченным ресурсом, определение которого экспериментальными методами высокочастотным. Существующие численные модели напряженно-деформированного состояния уплотнителя в процессе эксплуатации базируются на значительных допущениях [1]. Эксплуатация клапана требует технического обслуживания, включающего возможную замену сальникового уплотнения или всей шпиндельной группы.

Таблица 2

Преимущества и недостатки клапана фирмы Herose

Преимущества	Недостатки
Низкая себестоимость	Расположение пары трения в холодной зоне может привести к заклиниванию штока по резьбе
Относительно простая конструкция	Низкая надежность
Превышает аналоги по компактности и массе	Посадка тарели на седло с доворотом, снижение воспроизводимости по герметичности [1, 2]
Ремонтопригоден	Треугольный маховик приводит к разному крутящему моменту при вращении рукой
Уникальный дизайн [3, 4]	Импортный товар

Модель клапана можно усовершенствовать, пользуясь одним из тезисов Г. Альтшуллера [2]: «идеальным механизмом является функциональный объект, масса которого равна нулю, при этом его функции выполняются». Идея «отсутствующего», но функционального уплотнения реализована в магнитной муфте. Изоляция среды осуществляется герметичным стаканом и неподвижным уплотнением между стаканом и корпусом.

Магнитные муфты используются в центробежных насосах, предназначенных для перекачки химически агрессивных рабочих сред, где использования традиционного сальникового уплотнения является невозможным [3].

Герметичность клапана обусловлена усилием, с которым тарель с уплотнителем прижимается к седлу. Для создания этого усилия необходимо придать ходовой гайке определенный крутящий момент при помощи маховика [4].

Магнитная муфта в предложенной в данной работе сборке клапана является составной частью маховика, внутри которого по периметру размещен

ряд магнитов (рис. 2) Защитный кожух, уплотненный относительно корпуса резиновым кольцом, изолирует внутреннюю полость. Внутри кожуха расположена ведомая часть магнитной муфты с приемными магнитами. Зацепление магнитного поля с ведущими магнитами обеспечивает бесконтактную передачу крутящего момента от маховика.

Для защиты уплотнений запорной арматуры от повреждения из-за чрезмерного усилия при закрытии разработана предохранительная магнитная муфта, выполняющая роль фрикциона [3].

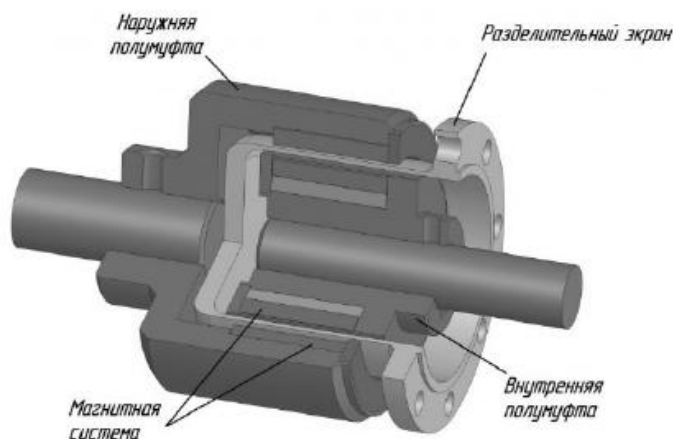


Рис. 2. Структурная схема магнитной муфты

Силовой расчет был выполнен в соответствии с методикой из справочника Гуревича [5]. Для обеспечения герметичности затвора клапана крутящий момент от магнитной муфты повышается планетарным редуктором.

Коническая форма шестерней сателлитов по сравнению с цилиндрическими шестернями позволяет уменьшить массогабаритные характеристики планетарного редуктора при сохранении того же передаточного числа 2:1.

Результаты. Принцип работы разработанного запорного клапана: расход рабочей среды, протекающей через клапан осуществляется путем изменения площади проходного сечения, образованного тарелью клапана 7 и седлом в корпусе 4. Изменение площади проходного сечения осуществляется при помощи поступательного движения штока 5. Поступательное движение штока 5 преобразуется во вращательное при помощи гайки ходовой 14. С целью усиления крутящего момента гайка ходовая 14 входит в зацепление с редуктором планетарным 20, зафиксированным неподвижно относительно стойки группы шпиндельной 19 при помощи шлицевого соединения. Шток 5 входит в зацепление с ходовой гайкой 14. Когда торец штока в крайнем положении упирается в магнитную муфту — подпружиненный магнит, движется поступательно, выталкивая кнопку, сигнализирующую о положении клапана (открыто/закрыто). Предложен дублирующий индикатор в виде магнитного кольца, входящего в зацепление с магнитами на штоке. На корпус нанесены риски “Open, Close”. Шток от проворота фиксируется при помощи двух шпо-

нок 12, которые входят в зацепление с корпусом 4 клапана. Шпонки вставляются в пазы штока, и фиксируются в группе шпindelной при помощи внутреннего стопорного кольца.

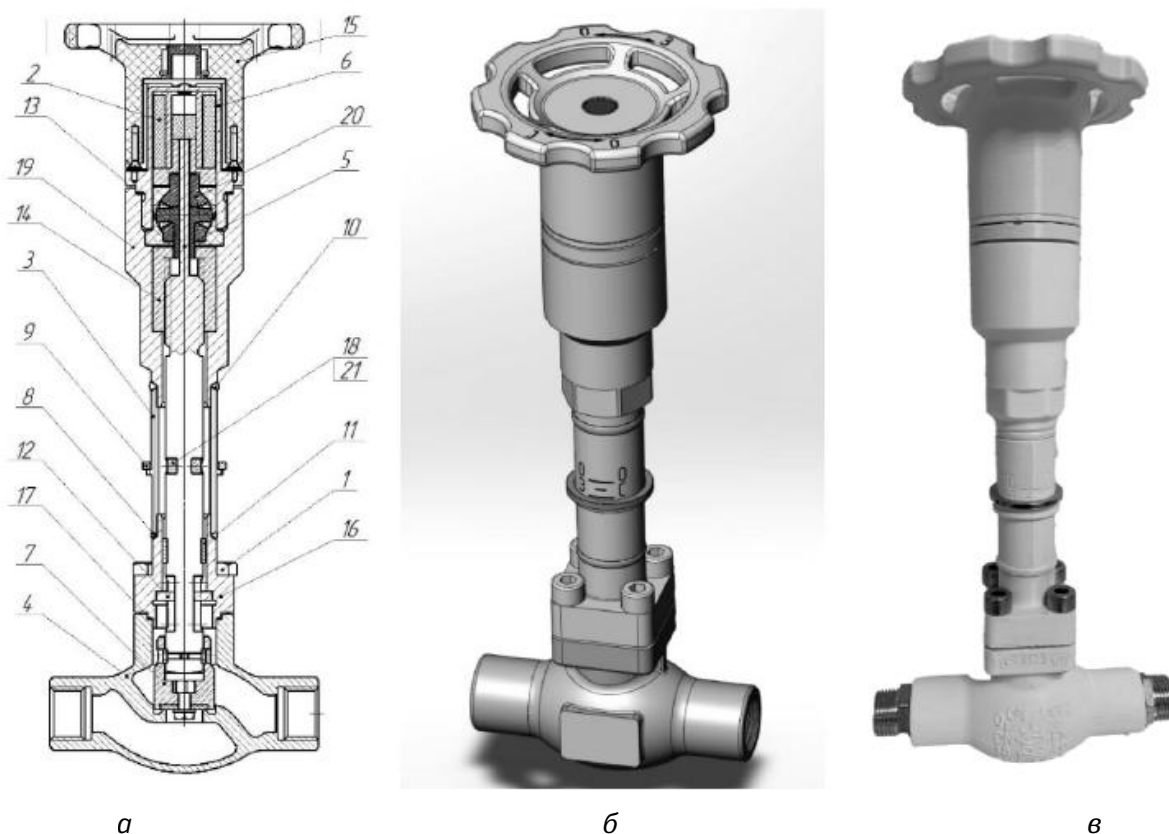


Рис. 3. Конструкция запорного клапана:

а — структурная схема; *б* — трехмерная модель; *в* — макетный образец, выполненный при помощи метода аддитивных технологий

Заключение. Предложена новая конструкция запорного клапана, включающая в себя ряд инновационных решений: использование магнитной муфты, размещение пары трения в теплой зоне, устранение проворота штока при помощи шпонок, предложено несколько видов индикаторов, сигнализирующих положение запорного органа клапана. Дальнейшие исследования включают: разработку математической модели течения среды в клапане, проведение гидравлического расчета методами CFD, снятие расходной характеристики и определение потерь давления.

Список источников

- [1] Кузнецов В.В. Ресурс подвижных уплотнительных соединений с кольцами круглого сечения. *Вестник Мордовского университета*, 2018, т. 28, № 4, с. 562–582.
- [2] Альтшуллер Г.С. *Творчество как точная наука. Теория решения изобретательских задач*. Москва, Сов. радио, 1979, 184 с.

-
- [3] *Магнитная муфта: принцип работы, устройство, эксплуатация*. URL: <https://ytspumps.ru/info/articles/printsip-deystviya/magnitnaya-mufta-printsip-raboty-ustroystvo-ekspluatatsiya/> (дата обращения 30.09.2024).
 - [4] СТ ЦКБА 072–2009. *Арматура трубопроводная. Крутящие моменты и размеры маховиков и рукояток*. Санкт-Петербург, 2018, 13 с.
 - [5] Гуревич Д.Ф. *Трубопроводная арматура*. Ленинград, Машиностроение, 1981, 368 с.