

Кондрашов Ю.И.,
Лопатин А.Л.

Самарский университет

34, Московское шоссе,
Самара, Российская Федерация
443086,

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУР НА УСИЛИЕ ГЕРМЕТИЗАЦИИ КЛАПАННЫХ УПЛОТНЕНИЙ

В данной работе содержится краткое описание криогенных клапанов и расчет удельной нагрузки в уплотнении, приведены результаты экспериментальных исследований отдельных типоразмеров многослойных сильфонов и результаты сравнительных испытаний клапанных уплотнений, описана установка для испытаний клапанов в среде жидкого водорода.

Ключевые слова: криогенный клапан; клапан; клапанные уплотнения; сильфон; удельная нагрузка в уплотнении; фторопласт; поликарбонат; жидкий водород

1 Введение

За последние десятилетие в мире возросло использование криогенных рабочих сред в [1] качестве топлива в двигателях, применяемых в авиационно-космической технике. При криогенных температурах существенно изменяется поведение материалов из которых изготавливают конструктивные элементы агрегатов, изменяется и баланс сил, действующий на клапанные уплотнения (КУ). Кроме того, такие виды топлив как сжиженный природный газ (СПГ), жидкий водород и др. требуют повышенные усилия для герметизации КУ при более жестких требованиях по утечкам сред склонных образовывать взрывоопасные концентрации с окислителями (воздухом, кислородом).

Последняя проблема проще решается применением сильфона в качестве разделителя сред, а рост давлений рабочих криогенных сред – использованием многослойных сильфонов, имеющих большую жесткость по сравнению с однослойными сильфонами рис.1.



Рисунок 1 - Некоторые образцы сильфонов

На рис. 2, 3 показаны конструкционные схемы агрегатов управления криогенными средами, в частности работающих на жидком водороде при температуре $T = 20$ К.

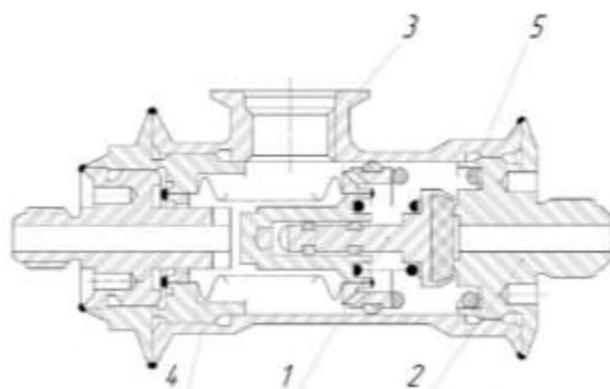


Рисунок 2 - Криогенный клапан $d_y = 10$.
1 – Затвор; 2 – Штуцер; 3 – Корпус; 4 – Сильфон; 5 – Пружина

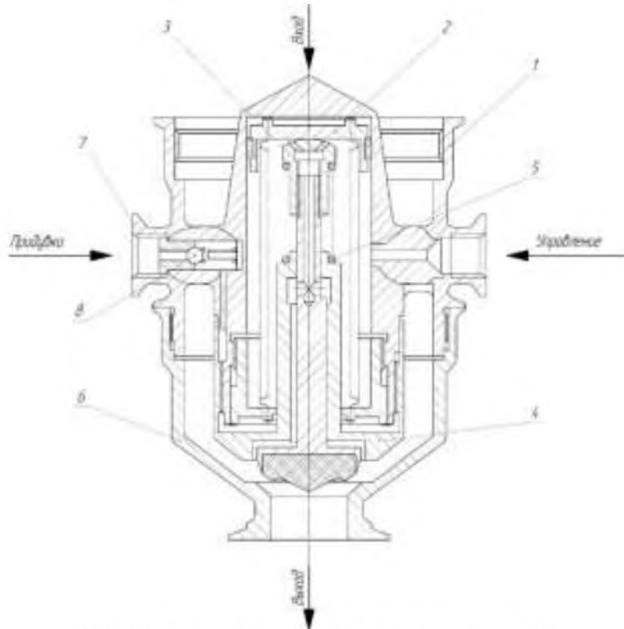


Рисунок 3 - Криогенный клапан $d_y = 32$.
1 – Корпус; 2 – Сильфонный узел; 3 – Опора;
4 – Клапан; 5 – Пружина; 6 – Фланец; 7 – Втулка;
8 – Шарик

Требование минимизации массы этих агрегатов напрямую зависит от определения оптимального удельного контактного усилия для герметизации и соответственно выбора привода, обеспечивающего герметичность на КУ. Удельная нагрузка в уплотнении в общем случае определяется по формуле:

$$q_{yy} = \frac{P_\Sigma}{F_k},$$

где P_Σ – суммарное статическое усилие, действующее на площадь контакта в уплотнении, F_k – площадь контакта.

$P_\Sigma = P_y \cdot F_{\text{эф}} \pm P_{np} - \alpha_1 \cdot c \cdot \Delta x \pm \Delta P_p \cdot F_c + q_{y\delta}^y \cdot F_{\phi,c}$
где P_y – давление в управляющей полости; $F_{\text{эф}}$ – эффективная площадь сильфона (поршня) привода; P_{np} – усилие пружины (“+” – для нормально закрытых клапанов, “-” – для нормально открытых клапанов); α_1 – безразмерный коэффициент, учитывающий увеличение жесткости сильфона в криогенной среде; c – жесткость сильфона; Δx – фактический рабочий ход сильфона; ΔP_p – перепад рабочей среды в уплотнении, (“+” – при давлении на клапан, “-” – при

давлении под клапан); F_c – площадь по среднему диаметру седла на котором существует перепад рабочей среды; $q_{y\delta}^y$ – удельное контактное давление для выбранного материала уплотнительного элемента; $F_{\phi,c}$ – площадь контакта седла по выбранному материалу уплотнения.

$$P_{np} = \alpha_2 \cdot C_{np} \cdot \Delta h,$$

где α_2 – безразмерный коэффициент, учитывающий изменение жесткости пружины при изменении температуры; C_{np} – жесткость пружины; Δh – ход пружины на сжатие.

Очень важным для определения окончательной величины потребного усилия для герметизации по КУ для конкретной криогенной среды наряду с отмеченными выше особенностями влияния криогенной среды на конструктивные элементы агрегата является оптимальной выбор уплотнительного материала [3].

Одним из важных условий в этом случае является минимальность изменений механических характеристик уплотнительного материала, при широком температурном диапазоне его работы. Естественно, что применение эластомеров в качестве уплотнительного материала в этом случае не приемлемо.

При температуре жидкого кислорода, жидкого азота широко используется фторопласт. Однако при более низких температурах (ниже 77 К) требуется существенное увеличение удельных контактных давлений для герметизации и особенно при температуре жидкого водорода.

В качестве альтернативного уплотнительного материала для герметизации КУ, работающих в среде жидкого водорода были спроектированы поликарбонаты ПК-2, ПК-М-3 рис. 4.



Рисунок 4 - Поликарбонаты ПК-2, ПК-М-3

2 Материалы и методы

Определение коэффициентов α_1 , α_2 и сравнительные испытания КУ для фторопласта-4 и Поликарбоната для конкретных условий проводились с использованием установок на рис. 5 и 6 соответственно.

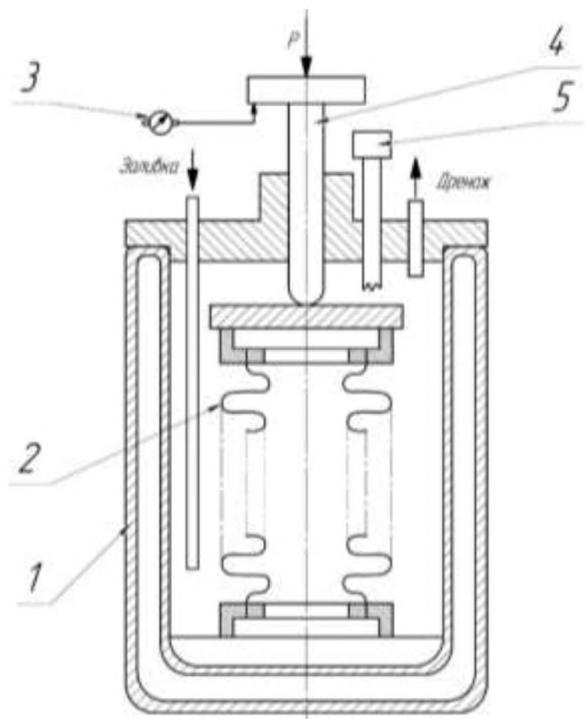


Таблица 1 - Изменение жесткости некоторых типов сильфонов от влияния температуры

Типоразмер сильфонов	ГОСТ	Температура испарения T, K			
		293	203	77	20
27-9-0.16×6	21744-83	1.0	1.04	1.11	1.16
38-8-0.2×6	21744-83	1.0	1.05	1.18	1.22
38-13-0.2×6	21744-83	1.0	1.03	1.12	1.17
48-13-0.2×10	21744-83	1.0	1.04	1.14	1.18
63×6×0.25	24553-81	1.0	1.02	1.05	1.12

Рисунок 5 - Устройство для оценки изменений жесткости сильфона или пружины в зависимости от температуры.

1 – Криобак; 2 – Испытуемый сильфон или пружина; 3 – Индикатор; 4 – Толкател; 5 – Датчик температуры

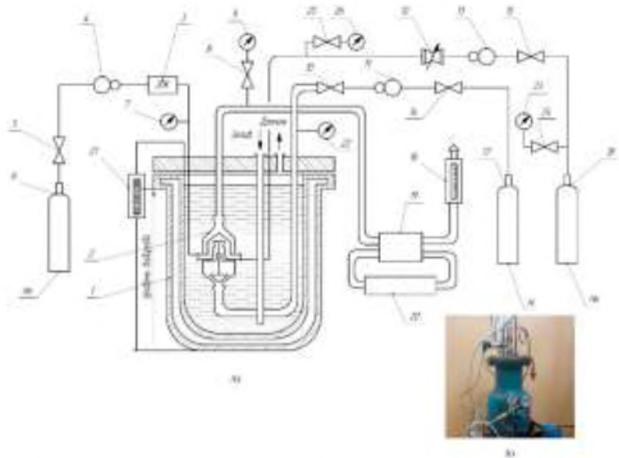


Рисунок 6 - Установка для испытаний клапанов в среде жидкого водорода.

А) Принципиальная схема

1 – Криостат; 2 – Испытуемый клапан; 3 – ЭПК; 4, 11, 13 – Редукторы; 5, 8, 10, 14, 15, 23, 25 – Вентили; 6, 17, 18 – Баллоны; 7, 9, 22, 24, 26 – Манометры; 12 – Дроссель; 16 – Ротометр; 19 – Пробоотборник; 20 – Хромотограф; 21 – Уровнемер.

Б) Внешний вид

3 Результаты

Экспериментальные исследования отдельных типоразмеров многослойных сильфонов [2] с использованием устройства на рис. 5 показывают изменение жесткости сильфонов и пружин в сторону увеличения, данные приведены в таблице 1.

Изменение жесткости цилиндрических пружин из проволоки 12Х18Н10Т ГОСТ 18143-72 составляет при температуре 77 К в сторону увеличения $\approx 10\%$, а при температуре 20 К $\approx 14\dots 15\%$.

Полученные результаты при сравнительных испытаниях КУ для фторопласта-4 и Поликарбоната подтвердили преимущество поликарбоната ПК-М-3 по сравнению с фторопластом-4. Поскольку фторопласт-4 \approx в 6 раз требует увеличения q_{uu} для герметизации в среде жидкого водорода по сравнению с его применением при нормальной температуре, а поликарбонат всего \approx в 2.5…3 раза [4].

4 Заключение

Следовательно, при проектировании агрегатов, работающих в криогенной среде необходимо учитывать все выше отмеченные факторы для обеспечения минимальности габаритов и веса проектируемых агрегатов, учитывая полученные экспериментальные данные.

Таким образом, при определении суммарного усилия требуемого для

обеспечения герметичности по контактному уплотнению, связанному с изменением характеристик материала самого уплотнения, необходимо учитывать и изменения в жесткости участвующих в процессе герметизации пружины и сильфона составляющих баланс сил.

Список литературы

- [1] Буткевич И.К. Криогенные установки и системы: Учебн. пособие. - М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. – 151 с.
- [2] ГОСТ 21744-81 Сильфоны многослойные металлические. Технические условия.
- [3] Солнцев Ю.П., Степанов Г.А. Материалы в криогенной технике: Справочник. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ния, 1982. – 312 с.
- [4] Исследование напряженно-деформируемого состояния клапанного уплотнения на основе поликарбоната/ Кондрашов Ю.И., Журавлёв О.И., Шорин В.П., Тушов Е.В. – ПТС «Технология авиационного приboro- и агрегатостроения»; 1984, №4, с. 71-73.
- [5] Довгялло А.И. Сильфонные термомеханические преобразователи. Самарский научный центр РАН. – Самара, 2000. – 182 с.: ил.

**INVESTIGATION OF CRYOGENIC TEMPERATURES
INFLUENCE ON VALVE SEALS PRESSURIZATION
INCREASE**

Kondrashov Yu. I.

Lopatin A. L.

Samara University

34,Moskovskoe shosse,
Samara, Russian Federation
443086,

This article deals with short description of cryogenic valves and calculation of specific load in sealing, results of experimental researches of separate dimensions of multi-layer bellows and results of comparative tests of valve sealing. Plant of valve testing in liquid hydrogen is also described.

Key words: cryogenic valve, valve, valve sealings, bellow, specific sealing load, fluoroplastic; polycarbonate, liquid hydrogen

Reference

- [1] Butkevich I.K. Cryogenic installations and systems: Textbook. manual.- M .: Publishing house of the Moscow State Technical University named after. N.E. Bauman. 2008 .— 151 p.
- [2] GOST 21744-81 Multilayer metal bellows. Technical conditions.
- [3] Solntsev Yu.P., Stepanov G.A. Materials in cryogenic technology: Handbook. - L .: Mechanical engineering, Leningrad. department, 1982 .— 312 p.
- [4] Investigation of the stress-strain state of a valve seal based on polycarbonate / Kondrashov Yu.I., Zhuravlev OI, Shorin VP, Tushov Ye.V. - PTS "Technology of Aviation Instrumentation and Aggregate Engineering"; 1984, no. 4, p. 71-73.
- [5] Dovgyallo A.I. Bellows thermomechanical transducers. Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. - Samara, 2000 .— 182 p .: ill.