

2. Канунников И.И. Вибрационная диагностика вращающегося срыва в компрессорах ГТД с использованием методов спектрального анализа. - В сб.: Вопросы прикладной механики в авиационной технике. Труды I науч. конф. молодых ученых и специалистов КуАИ. Куйбышев: КуАИ, 1980, часть II, с. 155-168. Рукопись деп. в ВИНТИ 18.03.81, № 1210-81.

3. Канунников И.И., Сидоренко М.К., Стенькин Е.Д. Некоторые результаты применения спектрального анализа при исследовании вращающегося срыва и доводке компрессоров ГТД. - В сб.: УИ Всесоюзная конференция по аэроупругости турбомашин. Киев: Наукова думка, 1981, с.60-61.

УДК 627.0643-762.017

Ю.И.Кондрашов, В.М.Квасов

ГЕРМЕТИЧНОСТЬ КЛАПАННЫХ УПЛОТНЕНИЙ КРИОГЕННОЙ АРМАТУРЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАРАБОТКИ

Клапанные уплотнения агрегатов управления и автоматики ДДА и ДА работают в очень сложных условиях: они подвергаются воздействию контактного давления, эрозии, коррозии, термоциклов, вибрационного и пульсационного нагружений и т.д.

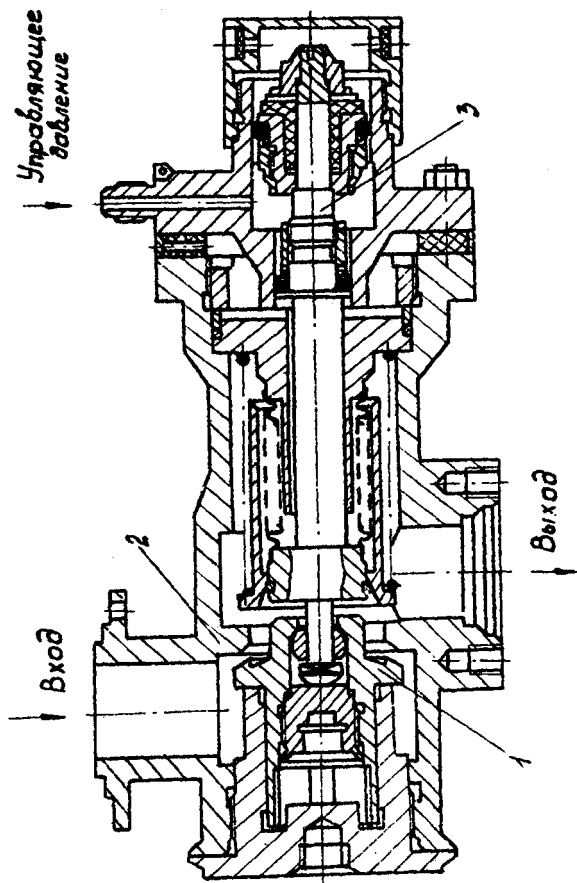
Повысить несущую способность контактирующей поверхности можно на основе рекомендаций, полученных при исследовании закономерностей процессов трения и износа, напряженно-деформированного состояния уплотнителя, контактной жесткости, влияния конструктивных факторов и технологии обработки на остаточные напряжения в уплотнительных элементах, а также путем определения минимального требуемого усилия уплотнения с учетом механических воздействий.

К запорным устройствам управляемой криогенной арматуры предъявляется ряд дополнительных специфических требований, главные из которых следующие:

а) клапанные уплотнения должны работать как на жидком, так и на газообразном продукте, а также на двухфазной смеси;

б) клапанные уплотнения должны быть герметичны как при криогенных температурах, так и при температуре окружающей среды;

в) пожаро- и взрывобезопасное исполнение клапанного уплотнения должно исключать возможность воспламенения рабочих смесей в процессе его срабатывания.



Р и с. 1. Клапан Ду 52: 1 - клапан; 2 - седло клапана; 3 - пневмопривод

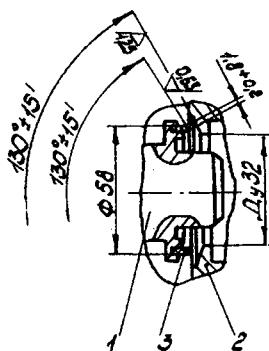
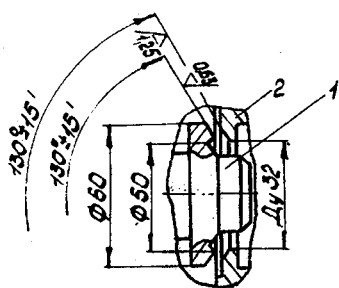
В зарубежной и отечественной научно-технической и патентной литературе недостаточно материалов по особенностям конструктивного исполнения криволинейных запорных пар и данных по их работоспособности и ресурсу в различных средах.

С целью выбора герметизирующего материала, наиболее отвечающего вышеперечисленным требованиям при температурах до 20 К и заданному ресурсу (более 12000 циклов срабатываний), были проведены исследования клапанных уплотнений "металл по металлу", "металл - фторопласт-4", "металл - поликарбонат".

В качестве объектов исследований использовались:

клапан Ду 32 (рис.1) с конусной запорной парой и уплотнителем "металл по металлу" (рис.2) и с конусной запорной парой с уплотнителем из поликарбонатной смолы диллон "С" (ОСТ В-6-05-5022-81) по металлу (рис.3);

серийный расходный кислородный клапан Ду 95 с конусной запорной парой и уплотнителем фторопласт-4 (ТУ 6-05-723-79) по стали 07Х16Н6 (ТУ 14-I-1671-76 с НВ 362-370);

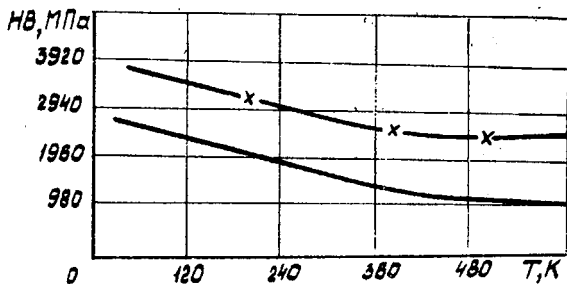


Р и с.2. Запорная пара управляемого клапана с уплотнением "металл по металлу": 1-затвор; 2-седло

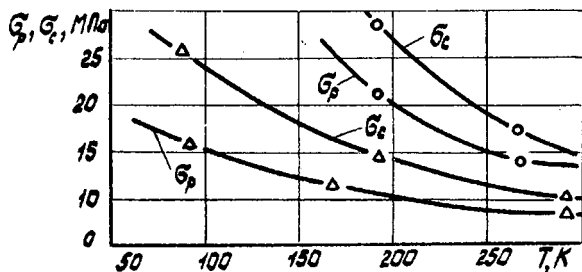
Р и с.3. Запорная пара управляемого клапана с уплотнением "металл - поликарбонат": 1-затвор; 2-седло; 3-уплотнение

плоское клапанное уплотнение из поликарбоната ПК-М-3 (ТУ 6-05-211-1070-81) по стали 12Х18Н9Т.

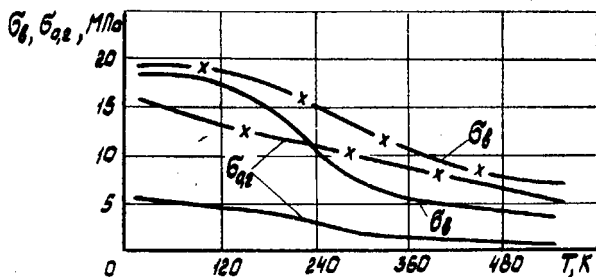
Для повышения герметизирующей способности и ресурса запорной пары были проведены следующие мероприятия:



Р и с. 4. Зависимость твердости от температуры среды: — Δ — сталь 12X18H10T; — x — сталь 07X16H6



а

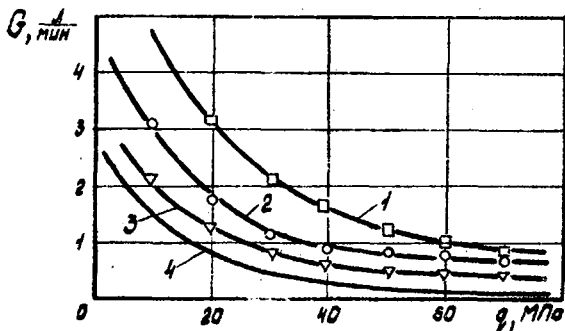


б

Р и с. 5. Зависимость прочностных характеристик от температуры среды: — Δ — поликарбонат; — \circ — фторопласт-4 (а); — — сталь 12X18H10T; — x — сталь 07X16H6 (б)

притирка контактирующих поверхностей седла и клапана с получением шероховатости поверхности седла от $R_a = 0,63$ до $R_a = 0,08$ при постоянной шероховатости поверхности клапана $R_a = 1,25$; покрытие поверхности седла свинцом толщиной 20 - 40 мкм; развазорование сопряжения "клапан - направляющая поверхность корпуса" с 0,1 мм (сопряжения $\varnothing 40H9 / f 9$) до зазора 0,25 мм с обеими сторонами клапанного уплотнения, изготовленного в соответствии с авторским свидетельством [1]; предварительная приработка запорной пары с учетом вышеперечисленного.

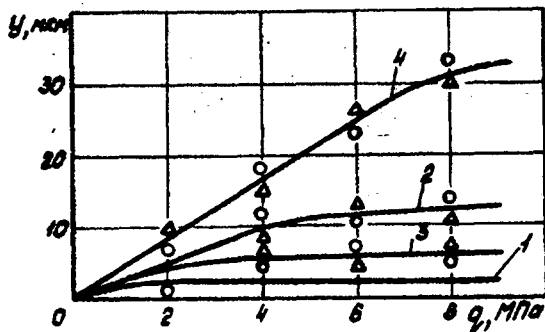
Из механических свойств материалов испытываемой пары "тарель клапана - седло" в зависимости от температуры [2, 3, 4] (рис. 4,5) и анализа приведенных (рис.6,7) зависимостей $G = f(q)$, $V_f = f(q)$ при



Р и с. 6. Влияние технологических параметров на утечку воздуха и удельное давление контакта седло (сталь 07X16H6, HB 362) - тарель клапана (сталь 10X11H20T3P, HB 305): 1 - пара седло ($R_a = 0,63$) - клапан ($R_a = 1,25$), зазор в сопряжении "клапан - направляющая корпуса" 0,1 мм; 2 - пара седло ($R_a = 0,160-0,080$) - клапан (покрытие свинцом 20 - 40 мкм), зазор в сопряжении "клапан - направляющая корпуса" 0,2 мм; 3 - после 600 циклов срабатывания; 4 - теоретическая зависимость

нормальной температуре видно, что наибольший эффект уменьшения утечек воздуха через запорную пару дает проведение предварительной приработки запорной пары при нормальной температуре в комплексе с повышением чистоты контактирующих поверхностей и уменьшением волнистости до $HV = 0,5$ мкм.

Теоретический весовой расход утечки воздуха через уплотнение (см. рис. 6) определялся по формуле течения газа в щели для изотер-



Р и с. 7. Зависимость сближения контактируемых поверхностей "седло - тарель клапана" от нагрузки: 1 - пара Ду 32, сталь (07X16H6, HB 362, $R_a = 0,63$) - сталь (ЮХ11Н20ТЗР, HB 305); 2 - пара Ду 32, сталь (07X16H6, HB 362, $R_a = 0,63$) - сталь (ЮХ11Н20ТЗР, HB 305, покрытие свинцом 20-40 мкм), первый цикл срабатывания; 3 - пара Ду 32, сталь (07X16H6, HB 362, $R_a = 0,63$) - сталь (ЮХ11Н20ТЗР, HB 305, покрытие свинцом 20-40 мкм), шестой цикл срабатывания; 4 - пара Ду 95, сталь (07X16H6, HB 362, $R_a = 0,63$) - фторопласт-4 ($R_a = 1,25$)

мического процесса течения [5]

$$G = f \sqrt{\frac{P_2}{RT}} \cdot \frac{1 - \epsilon}{S \frac{\ell}{\delta} - 2 \ln \epsilon}$$

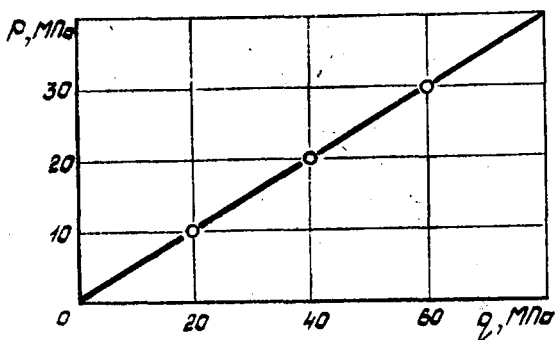
где S - коэффициент трения; f - площадь живого сечения щели; P_2 - давление на выходе из капилляра, МПа; T - абсолютная температура газа; R - газовая постоянная; $\epsilon = \frac{P_2}{P_1}$, где P_1 - давление на входе в клапан, МПа; ℓ и δ - соответственно эквивалентная длина и эквивалентный диаметр щели.

В расчетах принималось: $S = 0,02$; $\ell = 2500$ мкм; $\delta = 0,15$ мкм.

Одновременно установлено отсутствие утечек воздуха более 1,5 см³/мин при $q_{\text{мин}} \geq 80$ МПа (рис. 8) по паре на основе фторопласта-4.

Однако после 200-500 срабатываний затвора при испытаниях рабочей средой с температурой 20 К происходило резкое увеличение утечек, а в некоторых случаях и разрушение фторопласта-4.

Как видно из рис. 4 и 5, при криогенных температурах в качестве уплотнительного материала по сравнению с фторопластом-4 предпочтитель-

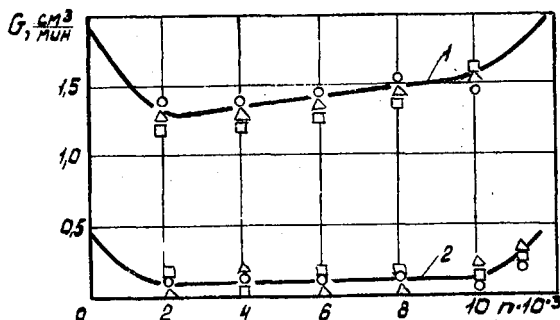


Р и с. 8. Зависимость потребных удельных давлений уплотнения седло (сталь 07Х16Н6, НВ 362) - клапан (фторопласт-4, В=1,8, $G < 1,5$ см³/мин, Ду 95) от входного давления

ным является применение поликарбоната (ПК-М-3, дифлон "С"), поскольку он лучше сохраняет свои упругопластические свойства при рабочих температурах ниже 90 к. Поэтому после доработки клапанов Ду 32 (см.рис.Д), выразившейся в замене уплотнения "металл по металлу" (см.рис.2) на уплотнение "металл - поликарбонат" (см.рис.3), исследования были продолжены.

В процессе экспериментальных исследований снималась зависимость $G = f(n)$, где n - порядковый номер срабатывания.

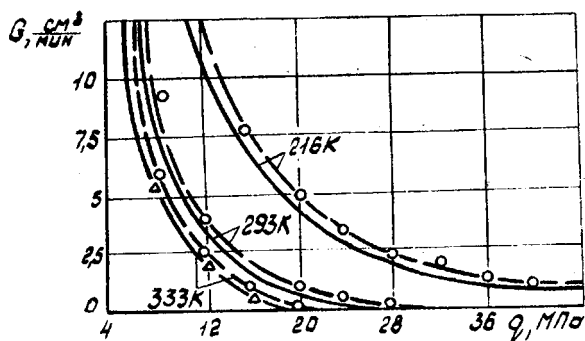
Замеры герметичности производились через каждые 500-1000 срабатываний. На рис. 9 представлены экспериментальные зависимости, осредненные по трем испытанным образцам.



Р и с.9. Зависимость утечек воздуха через затвор от циклов срабатывания: 1-пара седло (сталь 07Х16Н6, НВ 362, $R_{\alpha} = 0,160$) - клапан (сталь 10Х11Н20ТЗР, НВ 305, $R_{\alpha} = 0,63$); 2 - пара седло (сталь 07Х16Н6, НВ362, $R_{\alpha} = 0,63$) - клапан (поликарбонат дифлон "С")

Из графиков на рис. 9 следует, что период приработки конусной запорной пары с поликарбонатом как при удельном давлении 16,1 МПа, так и при удельном давлении 50,0 МПа, а также в случае уплотнения "металл по металлу" с $q \geq 80,0$ МПа лежит в интервале от 300 до 600 срабатываний; период нормальной эксплуатации, или период стабилизации утечек, - от 300 - 600 до 10000 - 12000 срабатываний.

На рис. 10 приведены графики зависимости утечек воздуха и газообразного гелия через запорную пару от удельного давления на уплотнителе дифлон "С" $G = f(q)$, построенные по результатам испытаний. Погрешность замеров величины зафиксированных течей $\pm 10\%$. Испытания проводились воздухом и газообразным гелием при температуре окружающей среды 216, 293 и 333 К.



Р и с. 10. Зависимость утечек воздуха и газообразного гелия через уплотнение "металл - поликарбонат" от температуры окружающей среды и удельного давления

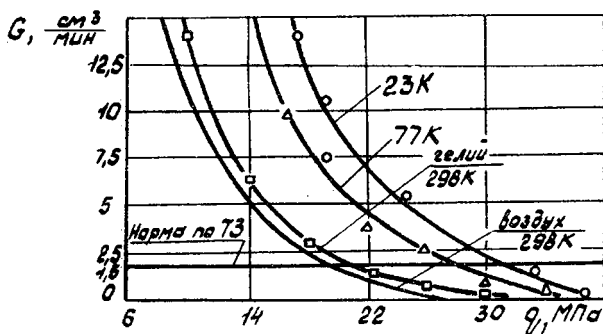
Полученные зависимости перетечек воздуха и газообразного гелия через запорную пару от удельного давления при уплотнителе дифлон "С" описываются с достаточной степенью точности интерполяционной формулой

$$G = \frac{\alpha}{(q - \beta)^n},$$

где α , β и n - коэффициенты, полученные методом наименьших квадратов [6] (см. таблицу).

В дальнейшем данная пара была подвергнута испытаниям на герметичность в среде азота и водорода; график зависимостей влияния вида среды на герметичность уплотнения приведен на рис. 11.

Интерполяционные коэффициенты	Среда	293 К	213 К	333 К
α	воздух	37 310	8 014	8 050
	гелий	44 770	9 100	10 063
β	воздух, гелий ;	40	60	35
n	воздух, гелий	2,29	1,5	1,91



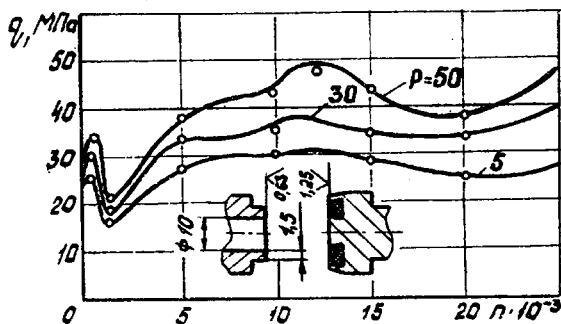
Р и с. II. Влияние вида среды (температуры) на утечки через уплотнение "металл - поликарбонат" в зависимости от контактного давления

Анализ указанных зависимостей подтверждает надежность конусного уплотнителя из поликарбоната дифлон "С" по металлу.

На рис. 12 представлена зависимость требуемого удельного давления для герметизации клапанного уплотнения на основе поликарбоната ПК-М-3 плоского типа от ресурсной наработки, усредненная по результатам испытаний на трех образцах.

Таким образом, приведенными исследованиями клапанных уплотнений для криогенных сред установлен ряд особенностей.

1. Обеспечение утечек менее $1,5 \text{ см}^3/\text{мин}$ в конусно-кольцевом уплотнении "металл по металлу" в криогенных клапанах с Ду 32 технологически трудно и экономически невыгодно.



Р и с. 12. Влияние ресурсной наработки на потребное удельное давление для герметизации клапанного уплотнения при 293 К, осреднённое по трем образцам, в зависимости от давления рабочей среды

2. Применение фторопласта-4 в качестве уплотнителя криогенного затвора при температуре ниже 50 К в агрегатах с большим (свыше 600) числом циклов срабатывания затвора нецелесообразно.

3. Наиболее приемлемым уплотнителем для малогабаритной криогенной авиационной арматуры является поликарбонат (ПК-М-3, ТУ 6-05-9-II - Ю70-8I; дифлон "С", ОСТ В6-05-5022-8I), обеспечивающий герметичность по группе 2-7 (ОСТ ЮОI28-74) при ресурсе свыше 8000 срабатываний и удельных контактных нагрузках от 40 до 100 МПа.

4. Предварительная приработка в количестве 300-600 циклов срабатывания в нормальных условиях способствует уменьшению и стабилизации утечек для уплотнений "металл по металлу".

5. Потребность в предварительной приработке для поликарбонатных уплотнителей с указанными конструктивными параметрами отпадает в конструкциях запорных устройств, обеспечивающих удельное давление в зоне контакта более 30 МПа.

Л и т е р а т у р а

1. А.с. 859695 (СССР). Компенсационное соединительное устройство В.М.Квасов, Ю.И.Кондрашов, О.И.Мулкин, И.П.Сорокин. - Заявл.23.06.75 № 2150359/25-27; Опубли. в Б.И., 1981, № 32.

2. Солнцев Ю.И., Степанов Г.А., Материалы в криогенной технике: Справочник. - Л.: Машиностроение, 1982. - 312с.

3. Канцельсон М.Ю., Балаев Г.А. Полимерные материалы: Справочник. - Л.: Химия, 1982. - 322с.

4. Кондрашов Ю.И., Квасов В.М., Мулкин О.П. Исследование герметичности запорных пар конусного типа на основе поликарбонатных смол в прямоточной управляемой криогенной арматуре. - В сб.: Бюллетень научно-технической информации. Якутск: Якутский филиал СО АН СССР, декабрь 1982, с. 36-44.

5. Погорелов В.И., Спрудэ И.К., Симкин Ю.Д. О гидравлическом моделировании при оценке герметичности металлических уплотнений типа "клапан - седло". - В сб.: Арматуростроение. М.: ЦКБА, 1973, вып. 3, с. 49 - 56.

6. Пискунов И.С. Дифференциальное и интегральное исчисление. - М.: Наука, 1978. Т.1. - 456 с.

УДК 629.7.051:534.29

В.И.Коннычев, Г.В.Костин, В.Н.Ягодкин

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВИБРОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ГРУППОВОЙ АМОРТИЗАЦИИ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ДЕЙСТВИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВИБРАЦИИ

При эксплуатации оборудования на современных летательных аппаратах начинают широко применять бортовые системы групповой амортизации (СГА). Определение и анализ виброзащитных характеристик таких систем амортизации бортового оборудования (БО) летательных аппаратов зачастую осуществлялись с помощью плоской одномерной колебательной модели классической структуры. Колебательная модель СГА качественно отличается от общепринятой плоской одномерной модели. СГА подвергается многовходным случайным вибрационным воздействиям, когерентным между собой, и является пространственно разнесенной многомассовой упругой системой. Виброзащитные свойства СГА могут описываться с помощью так называемых полных и обобщенных виброзащитных характеристик (ВЗХ), связывающих энергетический спектр случайного вибрационного процесса (СВП) на выходе с условным энергетическим спектром многомерного СВП на входе.

Однако до сих пор еще не разработаны сколь-нибудь приемлемые для практики рекомендации, дающие возможность оценивать ВЗХ много-