

с высокой точностью и минимальными затратами средств и времени определить их вибро- и удароизолирующие характеристики.

Л и т е р а т у р а

1. Конструкционное демпфирование в неподвижных соединениях / Н.Г.Калинин и др. - Рига: АН Латв.ССР, 1960. - 170 с.
2. Бусафов Ю.П., Островский М.С. Математическая модель гистерезиса внешнего трения. - АН СССР. Машиноведение, 1976, № 5, с. 82-87.
3. Математическое представление упругофрикционных характеристик виброизоляторов из материала МР / В.Н.Бузицкий, Г.В.Лауткин, А.Г.Пиртулин, Е.И.Саланов. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. Куйбышев: КуАИ, 1977, вып.4, с. 3-8.
4. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах. - М.: Мир, 1968. - 432 с.
5. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. - М.: Наука, 1974. - 504 с.
6. Вибрации в технике: Справочник / М.И.Блехман, Н.В.Бутенин, Р.Ф.Раниев и др. - М.: Машиностроение, 1979, кн. 2. - 351 с.
7. Каннингхэм В. Введение в теорию нелинейных систем. - М.: Д.: Госэнергоиздат, 1962. - 456 с.
8. Коловский М.З. Нелинейная теория виброзащитных систем. - М.: Наука, 1972. - 317 с.

УДК 62.762

Ф.В.Паровой, В.А.Борисов

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ДАВЛЕНИЯ В РАДИАЛЬНЫХ УПЛОТНЕНИЯХ С УПРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ МР ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Герметичность радиального контактного уплотнения обеспечивается созданием в зоне сопряжения уплотнительного кольца и контактирующих поверхностей контактного давления, превышающего давление уплотняемой среды.

Объектом исследований были уплотнения подвижных соединения пар возвратно-поступательного движения, включающие уплотнительное кольцо, состоящее из упругого элемента (материал МР), и уплотнительный эле-

мент, представляющий собой С-образную оболочку, открытую в сторону более высокого давления уплотняемой среды. Для уплотнений агрегатов двигателей летательных аппаратов наиболее важны такие достоинства уплотнительных колец, как их малые габаритные размеры, позволяющие снизить массу уплотняемых узлов и агрегатов, а также способность работать в широком диапазоне рабочей температуры, в том числе в условиях криогенных сред.

В работе проведено теоретическое исследование изменения контактного давления в уплотнениях с разработанными кольцами при изменении температуры от нормальной при сборке уплотнения до криогенной при работе агрегата. Согласно расчетной схеме, приведенной на рис. 1, уплотнительное кольцо

включает упругий элемент и оболочку, состоящую из двух тонкостенных цилиндрических оболочек, не связанных между собой. При расчете контактного давления в уплотнении приняты следующие допущения:

1. В свободном состоянии детали кольца не напряжены.

2. Контактующие поверхности (цилиндр и поршень) не деформируются под действием контактного давления.

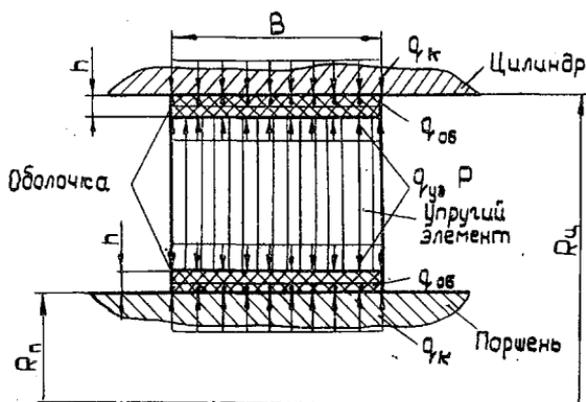
3. Оболочка деформируется упруго и подчиняется закону Гука. Такое допущение справедливо при небольшой деформации. Релаксацией напряжений в оболочке вследствие вязкотекучести можно пренебречь ввиду низкой рабочей температуры. Кроме того, деформация оболочки рассматривается непосредственно после сборки уплотнения.

4. Упругий элемент оказывает равномерное давление на цилиндрические участки оболочки.

5. Деформация толщины оболочки под действием давления упругого элемента и уплотняемой среды пренебрежимо мала.

Уравнение равновесия давлений в уплотнении имеет вид

$$-q_k + q_{уз} + q_{об} + P = 0 \quad ,$$



Р и с. 1. Расчетная схема уплотнения

- где q_k - контактное давление, действующее со стороны контактирующей поверхности на уплотнительное кольцо;
- $q_{yз}$ - давление упругого элемента, действующее на оболочку и передающееся через нее в зону контакта;
- $q_{об}$ - давление, действующее со стороны оболочки и определяемое напряжениями, возникающими в ней при деформации;
- p - давление уплотняемой среды, передающееся через оболочку в зону контакта.

Давление, создаваемое упругим элементом, определялось по зависимости, предложенной в [1] для описания деформации сжатия МР. Вследствие влияния кольцевых напряжений значения параметров МР A и α несколько отличаются от величин, получаемых при сжатии.

$$\bar{q}_{yз} = \frac{A \epsilon_{yз}}{(1 - \alpha \epsilon_{yз})} \frac{(R_ц + R_n)}{2(R_ц - h)} = \frac{A(\bar{H} + \bar{R} + 2h\bar{H} - 1)}{[\bar{H} - \alpha(\bar{H} + \bar{R} + 2h\bar{H} - 1)]} \frac{(1 + \bar{R})}{2(1 - h\bar{H})},$$

- где h - толщина оболочки;
- $R_ц$ - радиус цилиндра;
- R_n - радиус горны (радиус канавки, на которую устанавливается уплотнительное кольцо);
- $\epsilon_{yз}$ - относительная деформация упругого элемента;
- H - высота упругого элемента;
- $\bar{h}, \bar{H}, \bar{R}$ - относительные параметры уплотнения: соответственно толщина оболочки, высота упругого элемента и радиус; $\bar{h} = h/H$, $\bar{H} = H/R_ц$, $\bar{R} = R_n/R_ц$.

В связи с различной величиной площадей контакта по наружной и внутренней поверхностям контактное давление на них будет несколько различаться. При установке кольца в уплотнение возникает относительный натяг

$$n = R_{нар} / R_ц = 1 + \epsilon \bar{H}.$$

Для описания деформации оболочки используется теория тонкостенных коротких оболочек. Давление, создаваемое при деформации оболочки, равно

$$q_{об} = \frac{Eh(R_{нар} - R_ц)}{(R_ц - 0,5h)^2} = 2E \frac{\bar{h}(1-n)}{2n+h\bar{H}}.$$

При изменении температуры уплотнения меняются размеры элементов, а также механические характеристики материалов. На основании проведенных исследований и анализа литературных данных получены зависимости, описывающие изменение размеров и механических свойств материалов

в диапазоне температуры от 4 до 293 К:

$$\epsilon_{MP}^t = -1,38 \cdot 10^{-3} + 1,825 \cdot 10^{-3} (T/T_0)^2 - 0,445 \cdot 10^{-3} (T/T_0)^3 ;$$

$$\epsilon_{CT}^t = -2,76 \cdot 10^{-3} + 3,85 \cdot 10^{-3} (T/T_0)^2 - 0,89 \cdot 10^{-3} (T/T_0)^3 ;$$

$$\epsilon_{\phi}^t = -2,2265 \cdot 10^{-2} + 2,93 \cdot 10^{-3} (T/T_0) + 1,875 \cdot 10^{-2} (T/T_0)^2 ;$$

$$A(T) = A(T_0)(1,043 - 0,043 T/T_0) ;$$

$$E(T) = E(T_0)(7 - 6 T/T_0) ,$$

где $\epsilon_{MP}^t, \epsilon_{CT}^t, \epsilon_{\phi}^t$ - относительные температурные деформации МР, стали и фторопласта-4 соответственно;

$A(T)$ - параметр материала МР, характеризующий его жесткость (параметр A принимается не зависящим от температуры);

$E(T)$ - модуль упругости фторопласта-4;

T - температура уплотнения;

T_0 - начальная температура ($T_0 = 293$ К).

С учетом приведенных выражений можно определить зависимости давлений, создаваемых при деформации упругого элемента и оболочки, от температуры:

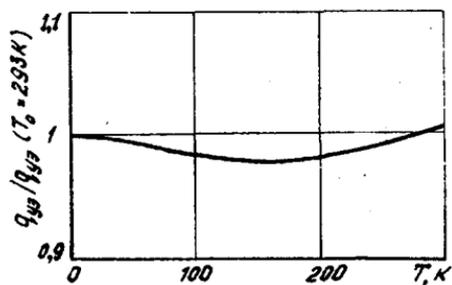
$$p_{uz}(T) = \frac{A(T) \left[\bar{A} + (\bar{R} - 1) \frac{1 + \epsilon_{CT}^t}{1 + \epsilon_{MP}^t} + 2\bar{h}\bar{A} \frac{1 + \epsilon_{\phi}^t}{1 + \epsilon_{MP}^t} \right] (1 + \bar{R})}{2 \left[\bar{A} - a \left[\bar{A} + (\bar{R} - 1) \frac{1 + \epsilon_{CT}^t}{1 + \epsilon_{MP}^t} + 2\bar{h}\bar{A} \frac{1 + \epsilon_{\phi}^t}{1 + \epsilon_{MP}^t} \right] \right] (1 - \bar{h}\bar{A})} ;$$

$$p_{ob}(T) = 2E(T) \frac{\bar{h} \left(\frac{1 + \epsilon_{CT}^t}{1 + \epsilon_{\phi}^t} - n \right)}{2n + \bar{h}\bar{A}} .$$

Давление по месту контакта уплотнительного кольца с поршнем определяется по аналогичной методике.

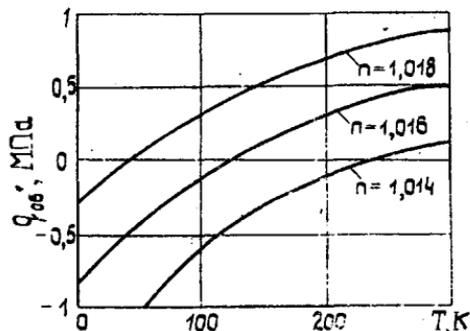
Проведены исследования изменения контактного давления в уплотнениях с цилиндрами радиусов $R_{ц} = 25; 33$ и 60 мм и параметрами $\bar{h} = 0,1-0,2$; $\bar{A} = 0,053-0,11$; $\bar{R} = 0,88-0,95$; $n = 1,014-1,018$.

График на рис. 2 показывает изменение давления, создаваемого пружинным элементом, при изменении температуры. Это изменение обусловлено, во-первых, температурной деформацией цилиндра, поршня, оболочки и упругого элемента, во-вторых, изменением жесткости материала

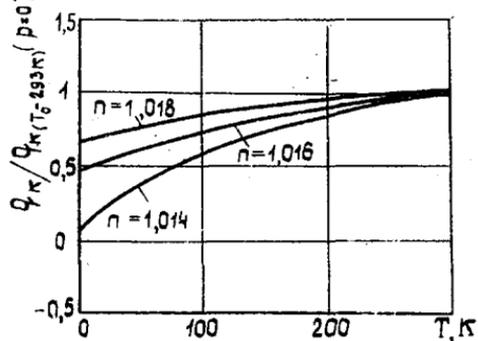


Р и с. 2. Изменение давления упругого элемента в зависимости от температуры

элемента. Поэтому в первом приближении можно считать давление, создаваемое упругим элементом, не зависящим от температуры.



Р и с. 3. Зависимость давления, вызванного деформацией оболочки, от температуры и натяга при монтаже



проволоки. При уменьшении температуры относительная деформация упругого элемента уменьшается ввиду того, что толщина стенок оболочки изменяется в большей степени, чем размеры остальных деталей уплотнения. Однако увеличение жесткости МР вследствие возрастания модуля упругости материала проволоки в значительной степени компенсирует уменьшение давления упругого

Зависимость давления, вызванного деформацией оболочки, от температуры показана на рис. 3. При снижении температуры $q_{об}$ переходит в отрицательную область. Изменение натяга при монтаже уплотнения сопровождается параллельным переносом кривой $q_{об} = f(T)$ вдоль оси ординат. Для обеспечения герметичности уплотнения необходимо сохранить при минимальной температуре рабочего диапазона

$$q_{уз} \geq q_{об}.$$

График на рис. 4 показывает относительное изменение контактного давления в уплотнении в зависимости от температуры. Уменьшение температу-

Р и с. 4. Зависимость контактного давления в уплотнении от температуры

ры до $T = 20$ К вызывает снижение давления в зоне контакта уплотнительного кольца с цилиндром на 45% при начальном натяге $\Pi = 1,016$. Для диапазона рабочей температуры $T = 77 - 293$ К достаточно обеспечить натяг при монтаже уплотнения $\Pi = 1,014$.

Увеличение жесткости оболочки приводит к необходимости увеличивать давление упругого элемента, что определяется увеличением натяга при монтаже и соответственным ростом контактного давления и силы трения при нормальной температуре. Поэтому целесообразно использовать оболочку минимальной толщины.

В зоне контакта уплотнительного кольца с поршнем (по месту посадки кольца в канавку поршня) уменьшение температуры вызывает увеличение контактного давления.

Л и т е р а т у р а

И. Борисов В.А. Выбор эмпирической формулы для описания деформации сватия материала ИР. - В сб.: материалы научно-технической конференции: Тез. докл. Куибышев: Куам, 1972, с. 252-253.

УДК 629.036.3: 621.43.056

В.С.Пашенко, И.А.Холмянский

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕР СГОРАНИЯ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ФОРСУНКАМИ

Надежность ГТД во многом определяется камерой сгорания (КС). Оценку рабочего процесса в ней производят на основе анализа неравномерности температурного поля газового потока на выходе из нее, полноты сгорания топлива и величины диапазона устойчивого горения. Кроме того, обычно исследуют величину потерь полного давления, температурное состояние стенок жаровой трубы и ряд других показателей.

Исследование экспериментальных характеристик КС производилось на установке (рис.1), которая состоит из трубопровода 1, подающего воздух от специального компрессора, корпуса КС 3, входного конуса 5, полноразмерной камеры сгорания 2 и выходного трубопровода 1б с дроссельным устройством для регулировки расхода и давления воздуха в КС. Входной конус 5 служит для организации потока на входе в камеру. На задней стенке конуса закреплен механизм вращения форсунки, состоящий