

$M^*$  - масса рабочего вещества.

Темп прогресса (остывания) статора будет определяться выражением

$$m_0 = \psi \frac{\bar{\alpha} F}{(C_0 M_0 + q M^*)} \quad (4)$$

при температуре статора, равной температуре фазового перехода рабочего вещества.

В результате термическое реагирование статора может быть приближено к термическому реагированию ротора при быстропотекающих переходных процессах.

#### Библиографический список

- И.А.с. 1208471 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 B 7/14. Способ градуировки бесконтактного датчика расстояния до объекта / В.Н.Нестеров (СССР). - № 3733334 / 25-28; Заявлено 25.04.84; Опубл. 30.01.86, Бюл. № 4. - 2 с.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сухомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергия, 1969. - 440 с.

УДК 621.002.3

В.А.Борисов, Ф.В.Паровай, В.Э.Куклев

#### ХАРАКТЕРИСТИКИ СПИРАЛЬНЫХ ПРУЖИН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ КОЛЕС

Радиальные уплотнения гидросистем двигателей летательных аппаратов (ДЛА) работают в тяжелых условиях (наличие криогенных и агрессивных сред, влияние вибрации и т.д.). При этом возрастает роль упругого элемента, являющегося необходимой частью контактного уплотнения.

Большой интерес представляют упругие элементы (УЭ) в виде спиральной пружины с плотным прилеганием витков, замкнутой в кольцо, получившие в последнее время распространение за рубежом (см., например, [1]). Преимуществами таких УЭ являются высокая жесткость,

линейный сосредоточенный характер контакта и малые размеры сечения.

Для определения возможности применения таких УЭ в уплотнениях гидросистем ДЛА были проведены исследования их упругих характеристик. Спиральный УЭ можно представить в виде набора одинаковых неразрезанных колец. Деформацию каждого кольца  $y$  в зависимости от нагрузки на него в упругой области можно определить из работы [2]:

$$y = \frac{P_g R^3}{E J \cdot 0,149}, \quad (1)$$

где  $P_g$  - нагрузка на виток;  $R$  - средний радиус кольца;  $E$  - модуль упругости;  $J$  - момент инерции кольца.

Введя относительную деформацию  $\epsilon = \frac{y}{D}$ , определим погонную нагрузку  $q_e = \frac{P_g}{d}$  и жесткость  $C_e = \frac{q_e}{y}$  упругого элемента:

$$q_e = \frac{\pi}{1,192} E \epsilon D \frac{1}{\left(\frac{D}{d} - 1\right)^3}; \quad (2)$$

$$C_e = \frac{\pi}{1,192} E D \frac{1}{\left(\frac{D}{d} - 1\right)^3}. \quad (3)$$

Из выражений (2), (3) видно, что на характеристики УЭ в большой степени влияет отношение диаметра спирали к диаметру проволоки  $D/d$ . Для увеличения жесткости это отношение необходимо уменьшать.

В эксперименте были использованы отрезки спирали длиной  $l = 11 \dots 17$  мм и диаметром  $D = 1,80; 2,45$  и  $2,95$  мм, изготовленной из проволоки 12х18Н10Т. Спирали диаметром  $D = 2,45$  и  $2,95$  мм были изготовлены из проволоки с  $d = 0,55$  мм, спирали диаметром  $D = 1,80$  мм - из проволоки с  $d = 0,25$  мм. Образцы пружин нагружались между плитами через динамометр на винтовом прессе, деформация сечения измерялась микрометрами. По результатам наблюдений рассчитывались погонная нагрузка  $q = \frac{Q}{l}$  и относительная деформация  $\epsilon = \frac{y}{D}$ , где

$Q$  - нагрузка на образец. Установлено, что потеря работоспособности при сжатии спирального УЭ происходит либо в результате значительной деформации витков спирали, либо при потере устойчивости формы. После потери устойчивости коротким образцам свойственно упругое восстановление формы, в то время как более длинные образцы деформируются

необратимо. Упругое восстановление происходит у образцов с соотношением  $\ell/D = 3 \dots 5$  при погонном давлении  $q_{\text{гн}} = 40 \dots 80$  Н/мм. Необратимая потеря устойчивости возникает у образцов длиной  $\ell/D = 5 \dots 7$  при  $q_{\text{гн}} = (100 \dots 190) \cdot 10^{-3}$  Н/мм.

Так как в уплотнениях используются замкнутые пружины с  $\ell/D > 10$ , потеря устойчивости витков не должно происходить. Поэтому в дальнейшем потеря работоспособности будет рассматриваться только как результат пластической деформации спирального УЭ.

Исследовано влияние длины образца на вид его деформационной характеристики. Обработка экспери-

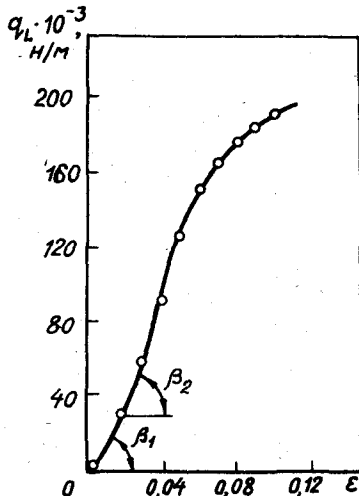
ментальных данных показала, что с погрешностью 10% можно считать, что длина образца не влияет на деформационную характеристику УЭ. В качестве примера на рис. 1 представлена деформационная характеристика спирального УЭ с  $D = 2,45$  мм. Из графика видно, что при нагрузке образцов при  $\varepsilon \approx 0,015$  происходит увеличение тангенса угла наклона характеристики:

$$\operatorname{tg} \beta (\varepsilon < 0,015) < \operatorname{tg} \beta (\varepsilon > 0,015).$$

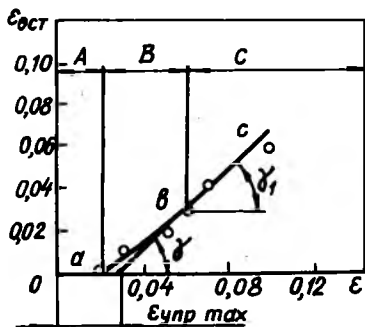
Можно предположить, что менее интенсивный рост жесткости образцов  $c = \operatorname{tg} \beta$  до достижения деформации  $\varepsilon \approx 0,015$  связан с технологической погрешностью изготовления спирали, а именно с погрешностью диаметров отдельных витков. В этой области деформации происходит последовательный ввод отдельных витков спирали в работу. Зависимость  $\varepsilon_{\text{ост}} = f(\varepsilon)$  показана на рис. 2. На графике можно выделить три характерных участка:

участок А ( $\varepsilon = 0 \dots 0,02$ ) — область упругой деформации;

участок В ( $\varepsilon = 0,02 \dots 0,06$ ) — область упругопластической деформации (угол наклона графика  $\gamma < 45^\circ$  при одинаковом масштабе по осям координат);



Р и с. 1. Деформационная характеристика спирального УЭ с  $D = 2,45$  мм,  $d = 0,5$  мм



Р и с. 2. Зависимость остаточной деформации от полной относительной деформации спирального УЭ

Использование УЭ при  $\varepsilon < 0,015$  также нежелательно, так как при разгрузке образцов при переходе границы  $\varepsilon = 0,015$  происходит интенсивное снижение упругого поджатия, что может привести к существенному росту утечки через уплотнение. Таким образом, при использовании в уплотнениях спирального УЭ необходимо предварительное поджатие до  $\varepsilon \approx 0,015$ , что соответствует значению удельной погонной нагрузки  $q_{подж} = (20...30) \cdot 10^{-3}$  Н/м. Зависимости (1)–(3) могут быть использованы только в упругой области. На основании экспериментов получены значения коэффициентов пропорциональности, позволяющие пользоваться ими и в зоне упругопластической деформации:

$$q_p = 0,344 E \varepsilon D \frac{1}{\left(\frac{D}{d} - 1\right)^3};$$

$$C_p = 0,344 E D \frac{1}{\left(\frac{D}{d} - 1\right)^3}.$$

Был определен также коэффициент энергоемкости [3] спирального упругого элемента  $K_W = (6,6...7,9) \cdot 10^{-6}$ . По этому показателю спиральные УЭ уступают МР ( $K_W = 0,2...0,4$  при  $\varepsilon = 0,2$ ).

На основании исследований можно сделать следующие выводы:

1. По коэффициенту энергоемкости и упругой деформации спиральные УЭ уступают аналогичным УЭ из МР.
2. Недостатком спиральных УЭ является "неровная" поверхность контакта, что может вызвать необходимость установки протектора между УЭ

участок C ( $\varepsilon > 0,06$ ) – область пластической деформации (угол наклона характеристики  $\gamma = 45^\circ$ ).

Пересечение линии  $\varepsilon_{ост} = 0$  определяет точку максимальной упругой деформации сжатия спирали. Согласно рис. 2 эта величина составляет  $\varepsilon_{упр max} \approx 0,03$ . Работоспособность УЭ обеспечивается в упругой A и упругопластической B областях, поэтому можно рекомендовать использование спиральных УЭ до деформации  $\varepsilon \leq 0,06$ , т.е. до значения удельной погонной нагрузки  $q_{max} = (150...160) \cdot 10^{-3}$  Н/м.

оболочкой. Областью применения спиральных УЭ могут быть уплотнения больших размеров, различной конфигурации в плане, когда важна технологичность изготовления и допустимы относительно невысокие контактные давления.

#### Библиографический список

1. Пат. 4445694 США, МКИ I6 I5/02. *All-metal expandable ultra high vacuum seal / Flaherty Robert; Westinghouse Electric Corp. - НКУ<sup>2</sup>277/1.*

2. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность. Устойчивость. Колебания: Справочник. Т.1. - М.: Машиностроение, 1968. - 831 с.

3. Паровай Ф.В. Разработка методов сравнения и оценки упругих свойств уплотнений // Вопросы прикладной механики в авиационной технике: Тр. науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов института / Куйбыш. авиац. ин-т. - Куйбышев, 1980. - Ч.П. - С. 21-31. - Рук. деп. в НИИТИ 18.08.81, № 1210-81ДЕП.

УДК 629.7.036

С.Д.Галкин, В.А.Кочуров

#### МЕТОДИКА ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГТД ПО ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Оценка состояния ГТД по уровню термогазодинамических параметров является в настоящее время одним из основных методов определения годности двигателя в процессе эксплуатации. Методы допускового контроля основаны на сравнении значений приведенных к стандартным атмосферным условиям величин измеренных параметров с техническими нормами.

Одним из основных факторов, влияющих на достоверность результатов оценки состояния ГТД, является точность определения приведенных к стандартным атмосферным условиям (САУ) значений термогазодинамических параметров на заданном для сравнения режиме работы двигателя. Например, суммарная погрешность расчетного определения приведенной частоты вращения ротора высокого давления двигателя самолета В-747 в пять раз больше суммарной погрешности измерения этого параметра [1].