

УДК 620.179.101

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЁТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ЦИКЛИЧЕСКОГО СЖАТИЯ МНОГОСЛОЙНОГО МНОГОПРОЛЕТНОГО ГОФРИРОВАННОГО ПАКЕТА

© 2013 И. Д. Эскин, Р. И. Алкеев, В. И. Иващенко

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

В статье рассматривается решение задачи о циклическом сжатии многослойного многопролётного гофрированного пакета в предположении отсутствия поворота сечений, лежащих в вершинах гофров (упрощённая модель). Получены соотношения, описывающие любой процесс загрузки в поле упругогибстерезисных петель пакета. В диапазоне, превышающем диапазон практически применяемых параметров гофрированных пакетов, проведено их экспериментальное исследование.

Многослойный многопролётный гофрированный пакет, циклическое сжатие, упрощённая модель, экспериментальное и расчётное исследования.

Условные обозначения, не описанные в тексте, см. [5], опубликованную в этом журнале.

Упрощённая модель

Упрощённую модель циклического сжатия многослойного многопролётного гофрированного пакета получим, приняв, как и в [2], что сечения, расположенные в вершинах гофров, не поворачиваются при нагружении пакета. Границы применимости упрощённой модели определены экспериментальным исследованием.

Рассмотрим сразу любую i -ую загрузку пакета.

Случай 1. Первый гофр не проскользнул в $i-1$ -м процессе загрузки. Этот случай аналогичен рассмотренному в [6].

Случай 2. Первый гофр проскользнул в $i-1$ -й загрузке. Сила, действующая на первый гофр на первом этапе i -й загрузки, определяется из решения уравнения (58) [6], где

$$N_{1i} = (-1)^{i+1} \frac{3C_0 t}{p^2 h^2} \tilde{y}_{ii} \left(\tilde{y}_{i-1}^* - f \right) \quad (1)$$

$$y_{ii} = (-1)^{i+1} \frac{\tilde{y}_{ii}}{2} \left(1 - \cos \frac{2px}{t} \right) \quad (2)$$

$$y_{01i} = \frac{1}{2} \left[\tilde{y}_{i-1}^* - f + (-1)^{i+1} \tilde{y}_{ii} \right] \left(1 - \cos \frac{2px}{t} \right) \quad (3)$$

в виде:

$$P_{1i} = (-1)^{i+1} \tilde{y}_{ii} \left\{ C_0 \left[1 + \frac{3}{2h^2} \left(\tilde{y}_{i-1}^* - f \right)^2 \right] - (-1)^i \frac{mp^2}{4t} P_{i-1}^* \right\} + P_{i-1}^* \quad (4)$$

Сила, действующая на второй гофр, определяется из решения уравнения (59) [2], где N_{2i} определяется из (1), y_{02i} – из соотношения (3) и R_{2i-1}^* определяется из соотношения (62) [2] или, что точнее, из соотношения (75) [2], где $s=2$, $r=1$,

$$N_{2i-1}^* = (-1)^i \frac{3C_0 t}{p^2 h^2} \tilde{y}_{i-1}^* \left(\tilde{y}_{i-2}^* - f \right) \quad (5)$$

При вычислении R_{2i-1}^* следует иметь в виду, что R_{2k2}^* определяется по соотношению (64) из [2].

При рассмотрении упрощённой модели можно получить соотношения, справедливые сразу для случаев 2 и 3. Поэтому далее рассмотрим случай 3, когда второй или любой j -й гофр ($j = 3, \dots, m$) проскользнул на $i-1$ -й загрузке. Силу, действующую на второй и любой k -й гофр ($2 \leq k \leq m$) на первом этапе i -й загрузки, найдём в виде:

$$P_{ki} = P_{ki-1}^* + (-1)^{i+1} \tilde{y}_{ii} \left\{ C_0 \left[1 + \frac{3}{2h^2} \left(\tilde{y}_{i-1}^* - f \right)^2 \right] - \frac{P^2}{2t} R_{ki-1}^* \right\} \quad (6)$$

где R_{ki-1}^* определяется по (74) [2] при $k=r$, если k -ый гофр проскользнул на $i-1$ -й загрузке.

Сила, действующая на пакет на первом этапе i -й загрузки, запишется в виде:

$$F_{ii} = (-1)^{i+1} \tilde{y}_{ii} \left\{ C_0 \left[1 + \frac{3}{2h^2} (\tilde{y}_{i-1}^* - f)^2 \right] m - \frac{P^2}{2t} \left(\sum_{r=1}^{i-1} R_{r-1}^* + \sum_{s=j+1}^m R_{s-1}^* \right) \right\} + \sum_{j=1}^m P_{j-1}^* \tag{7}$$

Отметим, что в случае $2j=1$:

$$\sum_{r=1}^{i-1} R_{r-1}^* = (-1)^i \frac{P}{2} P_{i-1}^*$$

Приращение деформации пакета в конце первого этапа i -ой загрузки, когда проскальзывает первый гофр, определим в виде:

$$\tilde{y}_{ii}^* = \frac{C_0 \tilde{y}_{i-1}^* - P_{i-1}^* \left[1 - (-1)^{i+1} \frac{mp^2}{4t} (\tilde{y}_{i-1}^* - f) \right]}{\frac{C_0}{2} (\tilde{y}_{i-1}^* - f) \left\{ \frac{3}{h^2} (\tilde{y}_{i-1}^* - f) \left[(-1)^{i+1} + \frac{mp^2}{4t} (\tilde{y}_{i-1}^* - f) \right] + \frac{mp^2}{2t} \right\} + \frac{mp^2}{2t} P_{i-1}^* \left[1 + (-1)^{i+1} \frac{mp^2}{8t} (\tilde{y}_{i-1}^* - f) \right]} \tag{8}$$

Подставив (8) в (55) из [2] и (7), найдём деформацию и силу в конце первого этапа i -ой загрузки.

Рассмотрим k -й этап i -й загрузки ($2 \leq k \leq j$, $2 \leq j \leq m$). Сила, действующая на пакет, запишется в виде:

$$F_{ij} = C_0 \left[\tilde{y}_{k-1,j}^* + (-1)^{i+1} \Delta \tilde{y}_{ij} \right] \cdot \sum_{s=1}^{k-1} \frac{1}{1 - (-1)^{i+1} \frac{mp^2}{4t} (2s-1) (\tilde{y}_{k-1,j}^* + (-1)^{i+1} \Delta \tilde{y}_{ij} - f)} + \sum_{r=k}^m P_{r-1}^* + (-1)^{i+1} (\tilde{y}_{k-1,j}^* + \Delta \tilde{y}_{ij}) \left\{ C_0 (m-k+1) \left[1 + \frac{3}{2h^2} (f - \tilde{y}_{i-1}^*) (f - \tilde{y}_{i-1}^* + (-1)^{i+1} (\tilde{y}_{k-1,j}^* + \Delta \tilde{y}_{ij})) \right] - \frac{P^2}{2t} \left(\sum_{r=k}^{i-1} R_{r-1}^* + \sum_{s=j+1}^m R_{s-1}^* \right) \right\} \tag{9}$$

где R_{r-1}^* определяется по соотношению (74) из [2] и R_{s-1}^* – по соотношению (75) из [2].

Приращение деформации пакета на k -м этапе ($2 \leq k \leq j$) определяется по (83) из [2]. Деформацию пакета и действующую на него силу в конце k -го этапа i -й загрузки найдем, подставив $\Delta \tilde{y}_{ki}^*$ из (83) [2] в соотношения (82) из [2] и (9). Здесь также при достижении на $j+1$ -м этапе i -й загрузки ($1 \leq j \leq m$) состояния, когда $\tilde{y}_{j+1i}^* = \tilde{y}_{i-2}^*$, дальнейшее загрузке пакета

при сохранении знака приращения деформации будет происходить по последующему этапу $i-2$ -й загрузки. Если на $i-1$ -й загрузке проскользнули все гофры ($j=m$), то в (9) $R_{s-1}^* = 0$ и $j=m$.

На последнем этапе i -й загрузки сила, действующая на пакет, определяется из соотношения:

$$F_i = C_0 \tilde{y}_i \sum_{j=1}^m \frac{1}{1 - (-1)^{i+1} \frac{mp^2}{4t} (2j-1) (\tilde{y}_i - f)} \tag{10}$$

где деформация пакета \tilde{y}_i принимает все значения в интервале

$$(-1)^{i+1} \tilde{y}_{mi} \leq (-1)^{i+1} \tilde{y}_i \leq (-1)^{i+1} \tilde{y}_i^*$$

Полученные соотношения позволяют построить любой процесс загрузки при циклическом сжатии многослойного многопролётного пакета. Так, процесс первичного нагружения описывается соотношением (10) при $i=1$. Любой разгрузочный процесс описывается соотношениями (1)...(10) при $i=2,4,6,\dots$, а любой процесс повторной загрузки – при $i=3,5,7,\dots$

Экспериментальное исследование

Циклическое сжатие многослойного многопролётного гофрированного пакета проводилось на установке, изображённой на рис. 1. Установка содержит жёсткий корпус 1, в нижней части которого смонтирована резьбовая пара, состоящая из гайки, выполненной как одно целое со штурвалом 2, и ходового винта 3 с микрометрической резьбой. Ходовой винт удерживается от проворачивания шпонкой и перемещается поступательно.

При вращении штурвала усилие через винт 3 и динамометр сжатия системы Токаря 4 передаётся на исследуемый пакет 5. Пакет размещается между нижней подвижной плитой 6, опирающейся через опорный шарик на динамометр 4, и верхней плитой 7, жёстко укреплённой на корпусе 1.

Деформация пакета измерялась с помощью двух индикаторов 8-часового типа ИЧ-10МН с ценой деления 0,01 мм.

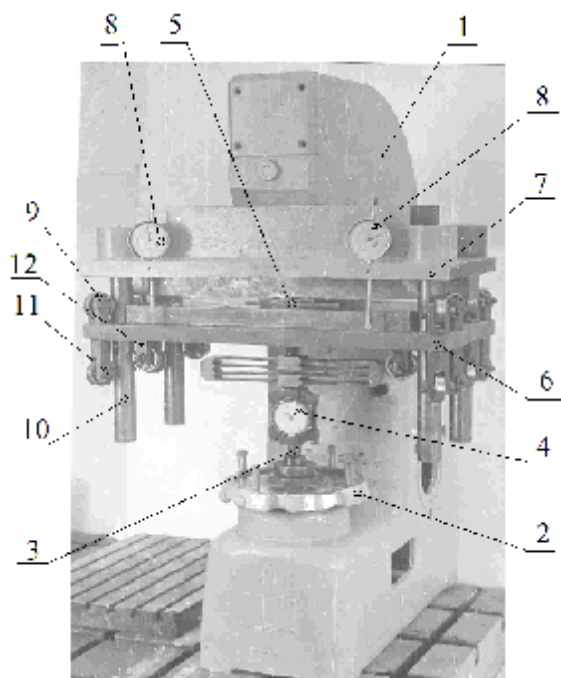


Рис.1. Экспериментальная установка

Для обеспечения точности эксперимента было выполнено следующее:

1) Корпус 1 и опорные плиты 6 и 7 выполнены очень жёсткими для исключения собственных деформаций этих деталей и обеспечения стабильности формы рабочего зазора, в котором размещён пакет.

2) Для обеспечения строгой параллельности плит при сжатии пакета движение нижней плиты 6 направлялось шариковыми подшипниками 9, перекатывающимися по четырём направляющим колонкам 10. Оси колонок выполнены строго перпендикулярными опорным поверхностям плит. Кроме того, для обеспечения точности направления перемещения каждые пять подшипников 9, контактирующие с одной колонкой 10, установлены в трёх радиальных плоскостях, а точки касания подшипников с колонкой разнесены по высоте. Усилия прижатия подшипника к колонке регулируются с помощью эксцентриковых осей 11, смонтированных в держателях 12 подшипников, закреплённых на нижней плите 6.

3) Контроль перекоса осуществлялся индикаторами 8, установленными

по краям плиты 7 на значительном расстоянии друг от друга.

4) Силы трения в самой установке, измеряемые динамометром, должны быть минимальными. Это условие обеспечивалось, во-первых, тем, что трение в резьбовой паре винт – гайка реализуется до динамометра и не влияет на величину измеряемой силы. Во-вторых, минимальное трение качения достигается регулировкой усилия прижатия подшипников к колонкам. Для получения стабильных значений коэффициентов трения в парах плита – пакет, опорные поверхности плит прошлифованы.

В эксперименте исследовались пакеты, изготовленные из стальной калёной шлифованной ленты 2П – Д – К – О, 2Х10 ГОСТ 21996 – 76. Материал ленты – сталь 60С2, 65Г, У9А или У10А.

Параметры пакета изменялись в пределах:

толщина ленты h – от 0,12 до 1,0 мм;

ширина ленты b – от 10 до 30 мм;

шаг гофра t – от 11 до 30 мм;

число пролётов (гофров) m – от 1 до 18;

число лент (слоёв) в пакете n – от 1 до 10;

начальный выгиб гофра f – от 0,6 до 2,6 мм;

погрешность начального выгиба (разновысотность) – не более 0,01 мм;

погрешность шага (разношагица) – не более 0,05 мм.

Исследовались пакеты как с обезжиренными контактными поверхностями (коэффициент трения скольжения $\mu=0,15$), так и с поверхностями, смазанными маслом МС – 20 ($\mu=0,08-0,1$).

Для обеспечения точности геометрических параметров пакета весь пакет, набранный из плоских лент, прокатывался между роликами или зубьями шестерён на специальной установке. Длина заготовок лент бралась больше (на 10-16 шагов гофра) длины лент в готовом пакете. Затем из гофрированных лент вырезался средний участок с требуемым числом пролётов, имеющий наиболее точные геометрические параметры, зачищались заусенцы на концах лент, и ленты собирались в пакет в той же последовательности, что и при прокатке. Каждая лента обрезалась строго

в вершинах гофров. Этим исключалась возможность посадки концов лент при сжатии пакета на верхнюю опорную плиту (концевые вершины пакета опирались на нижнюю плиту).

Высокое качество поверхностей лент и плавность профиля гофров достигались тем, что между крайними лентами пакета и роликами (или зубьями шестерён) при изготовлении гофров устанавливались прокладки из прессшпана.

Первоначально высота гофров получалась больше требуемой. Поэтому для получения необходимой высоты весь пакет обжимался до полного выпрямления (уплощения). Вследствие остаточной деформации после снятия нагрузки высота гофров получалась меньше первоначальной и сохранялась в процессе экспериментального исследования, так как в этом случае в эксперименте обеспечивалось дальнейшее деформирование пакета только в упругой области.

Такая технология изготовления обеспечивала хорошее, без зазоров прилегание лент в пакете, что является важным условием для обеспечения идентичности теоретической и экспериментальной моделей пакета. Требуемые величины геометрических параметров (начального выгиба и шага гофров) получались за счёт соответствующего подбора роликов (диаметра и количества роликов) или шестерён (модуля и числа зубьев), а также величины рабочего зазора между прокатывающимися элементами и толщины слоя прессшпана. Пакеты, не удовлетворяющие вышеуказанной точности изготовления, отбраковывались.

Перед проведением эксперимента оценивалась точность установки и проводилась её настройка, обеспечивающая отсутствие перекосов и минимальное трение в самой установке.

При максимальной нагрузке разность показаний индикаторов перемещения составляла не более 0,01 мм. Беззазорность в парах «подшипник – направляющая колонка» достигалась вращением эксцентрических осей. После этого сни-

жалась упругогистерезисная петля установки в пределах нагрузок и перемещений, реализуемых в эксперименте. Для этого между опорными плитами (по четырём углам плит) размещались четыре одинаковые спиральные цилиндрические пружины сжатия, и производилось их нагружение и разгрузка. При правильной настройке установки (при отсутствии чрезмерного натяга в парах «подшипники – направляющие колонки») потери на трение в установке, которые могут привести к ошибке, пренебрежимо малы.

Для стабилизации упругофрикционных свойств пакета он предварительно нагружался десятью-двадцатью тренировочными циклами с амплитудами, превышающими рабочие.

При этом контролировалось отсутствие перекоса по разности показаний индикаторов 8 при максимальной нагрузке (не более 0,01 мм).

Результаты экспериментального исследования (выборка из результатов) показаны на рис. 2, 3, 4.

На рис. 2 показано поле упругогистерезисных петель пакета, полученное при его циклическом сжатии.

На рис. 3 представлены первые три процесса нагружения пакета ($i=1, 2, 3$). Пакет нагружался таким образом, что его деформация в конце третьего процесса была как больше деформации в конце первого процесса ($\tilde{y}_3^* > \tilde{y}_1^*$ на рис. 3а, ..., 3к), так и равной ей ($\tilde{y}_3^* = \tilde{y}_1^*$ на рис. 3л).

На рис. 4 показаны процессы загрузки, ограничивающие поля упругогистерезисных петель различных компоновок пакета. Нагрузочный процесс в этом случае представляет собой первичный процесс нагружения пакета (в тренировочных циклах пакет полностью разгружался). Последний этап разгрузки, когда пакет также деформируется при смещении всех его вершин, занимает значительный интервал деформации пакета.

На рис. 3, 4 сплошной линией с чёрными точками построены экспериментальные зависимости сжимающей силы от деформации пакета, штриховой – зависимости, определённые из соотношений для уточнённой модели (77), (78), (81), (84) [6], и штрихпунктирной линией – из соотношения (10) при $i=1$ и $i=2$ для упрощённой модели. Штрихпунктирной линией с двумя точками на рис. 4а построены эти же зависимости для математической модели, приведённой в [3, 4].

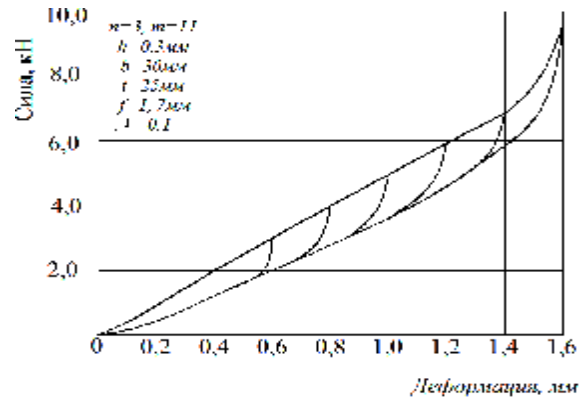
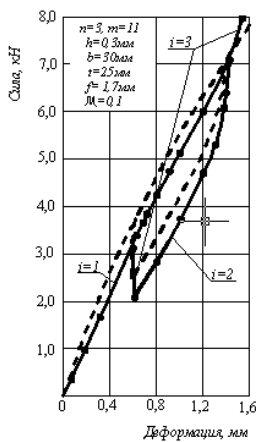
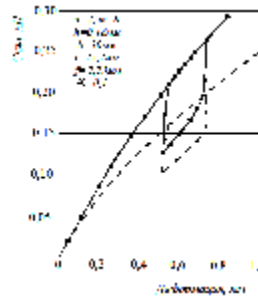


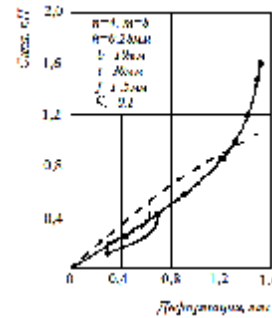
Рис.2. Поле упругогистерезисных петель пакета, полученное экспериментально при его циклическом сжатии



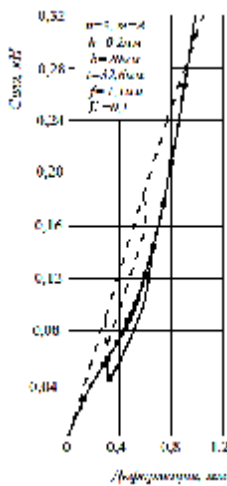
а



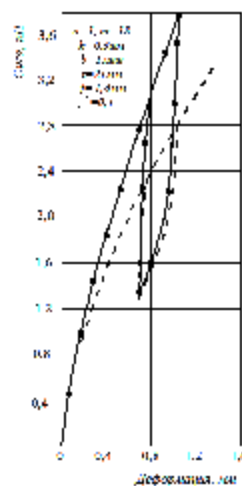
б



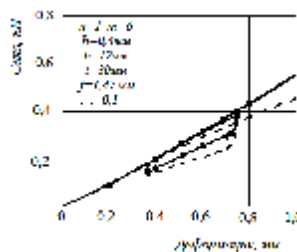
в



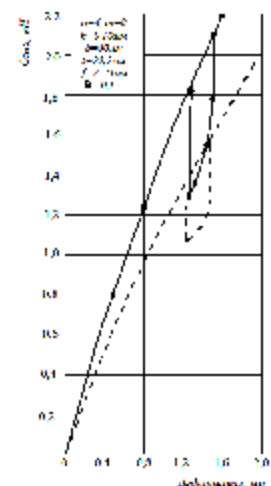
г



д



е



ж

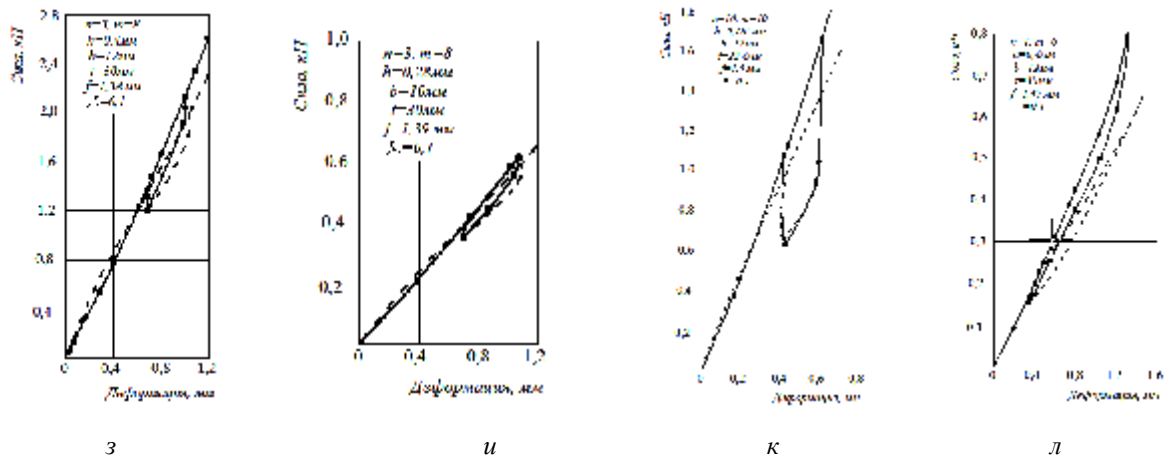


Рис.3. Первые три процесса загрузки пакета ($i = 1, 2, 3$)

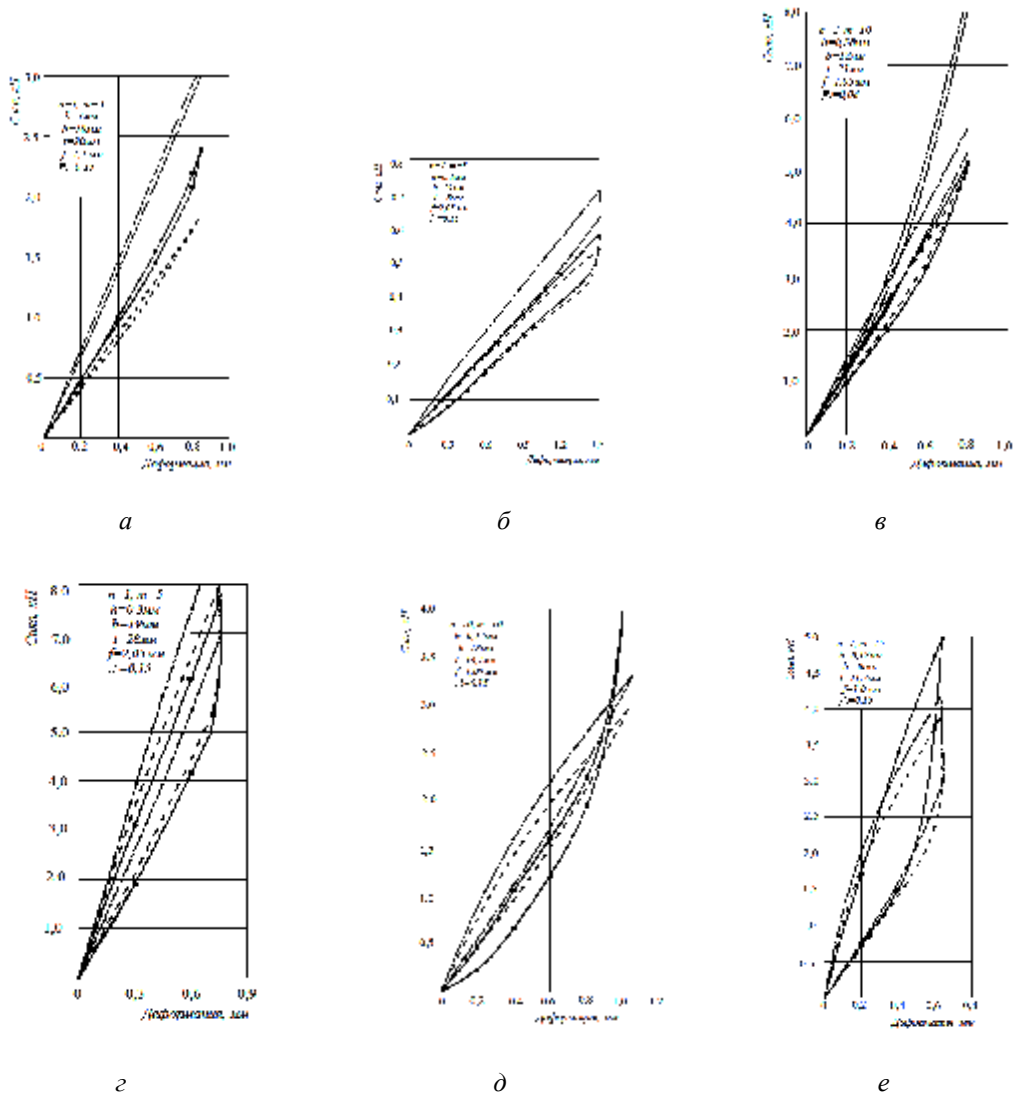


Рис.4. Процессы загрузки, ограничивающие поля упругогистерезисных петель различных компоновок пакета

Анализ графиков (рис. 3, 4) показывает, что при введении в расчётные формулы поправочного коэффициента $k_э=1,5$ предлагаемая модель достаточно точно отражает реальный процесс циклического сжатия пакета с $m \geq 2$. Экспериментальное исследование показало также, что допустимо учитывать поворот сечений, лежащих в вершинах гофров, только у двух гофров с каждого края пакета, т. е. параметр $m_1=2$. В этом случае ($m_1=2, k_э=1,5$) в исследованном диапазоне параметров, характеризующих число гофров, число лент в пакете, геометрию гофра, материал лент и состояние контактных поверхностей пакета, ошибка в значении сжимающей силы, определённой по соотношениям (77), (78), (81), (84) из [6] для уточнённой модели, не превышала $15 \div 20\%$.

Очевидно, что точность изготовления пакетов, указанная выше, является вполне достаточной и позволяет не учитывать в модели погрешности размеров и формы.

Упрощённая модель, не учитывающая поворот сечений, лежащих в вершинах гофров, даёт завышенные значения сжимающей силы. Причём ошибка будет тем большей, чем меньше число гофров пакета. Из рис. 4г, 4д видно, что при $m=5$ она составляет 30% и при $m=10$ – 10%.

При $m > 15$ упрощённая модель описывает процесс деформирования практически так же точно, как и уточнённая. Применение упрощённой модели целесообразно при $m \geq 10$.

Гипотеза о возможности представления многослойного гофрированного пакета эквивалентным однослойным гофрированным с жёсткостью, равной суммарной жёсткости исходных лент, подтверждена не только теоретически [5, 6], но и экспериментально – достаточным совпадением теоретических и экспериментальных результатов при $m=1, n=5$ [6], и при $m \geq 2$ и $n \geq 2$ (рис. 3а-3к).

Следует подчеркнуть, что результаты расчётов получены при справочных значениях коэффициента трения скольжения на контактных поверхностях [1], рав-

ных $\mu=0,15$ для обезжиренных поверхностей с шероховатостью, соответствующей 7 – 8 классу, и $\mu=0,08-0,1$ для смазанных поверхностей.

Из рис. 4в видно, что использование соотношений для математической модели [3, 4] приводит к большим ошибкам как в определении величины силы, так и рассеянной энергии. Эти соотношения дают сильно завышенные значения для сжимающей силы и сильно заниженные – для рассеянной энергии и поэтому, по нашему мнению, не пригодны для расчёта сжатия прямого многослойного многопролётного гофрированного пакета.

Границы применимости разработанных моделей

В настоящей работе исследовались пакеты с $f/t \leq 0,1$, для которых соотношение (1) из [5] достаточно точно описывает изогнутую ось гофра.

Разработанные модели дают хорошее совпадение с экспериментальными результатами в диапазоне изменения значения безразмерной деформации $\bar{y} = \tilde{y}/f$ от 0 до 0,8. При $\bar{y} > 0,8$ становится заметным влияние уплощения вершин гофров на жёсткость пакета, не учтённое в рассматриваемых моделях, что приводит к ошибкам, так как процессы загрузки пакета в этой области становятся сильно нелинейными.

Анализ структуры формулы (10) показывает, что имеется также граница по числу гофров m . При большом числе гофров значение силы может стать отрицательным, что не имеет физического смысла. Эта граница не определена.

Отметим, что конструктивные параметры современных гофрированных демпферов опор роторов авиационных газотурбинных двигателей не выходят за границы применимости разработанных моделей, так как параметр f/t у них меньше 0,1; суммарная максимальная безразмерная деформация $\bar{y} = \tilde{y}_H^*/f + \tilde{y}_{\max}^*/f$ (\tilde{y}_H^* – натяг в пакете демпфера, \tilde{y}_{\max}^* –

максимальная рабочая деформация пакета) меньше 0,8.

Это объясняется тем, что увеличение безразмерной суммарной максимальной деформации свыше этого предела приводит к повышенному разбросу упруго-фрикционных характеристик демпфера вследствие наличия допусков на его линейные размеры.

Число гофров в современных демпферах опор роторов авиационных ГТД не превышает $m=20$, что укладывается в границы применимости разработанной модели.

Параметры многослойных многопролётных гофрированных пакетов пеньальных защитных устройств автомобилей также укладываются в границы применимости разработанной модели.

Однако параметры гофрированных пакетов бамперных защитных устройств автомобилей могут оказаться такими, что разработанная модель будет справедлива только в интервале упругой области деформации этих пакетов либо вообще окажется неприменимой из-за большого числа гофров ($m>40$) и большого коэффициента трения ($\mu=0,4$) на контактных поверхностях пакета. Поэтому является актуальным решение задачи о циклическом сжатии многослойного многопролётного гофрированного пакета с $m>40$ не только в упругой, но и в пластической области.

Выводы

1. Разработаны две модели циклического сжатия прямого многослойного многопролётного гофрированного пакета – уточнённая, учитывающая поворот сечений вершин гофров, и упрощённая – без учёта поворота сечений.

2. Уточнённая модель обладает хорошей точностью при числе гофров $m \geq 1$ и значениях других параметров пакета, лежащих в диапазоне, перекрывающем диапазон изменения этих параметров у реальных демпферов ряда практических применений. Ошибка в определении величины сжимающей силы не превышает $15 \div 20$ %.

3. Уточнённая модель удобна для практического применения, особенно при числе гофров $1 \leq m < 12$, так как использует всего два параметра, определяемые из эксперимента, значения которых $k\tilde{\epsilon} = 1,5$ и $m_1 = 2$ оказались постоянными для широкого диапазона изменения параметров.

4. Упрощённая модель циклического сжатия пакета описывается значительно более простыми соотношениями, чем уточнённая. Её применение целесообразно при $m \geq 10-12$ гофров в пакете.

5. Определена граница применимости разработанных моделей по безразмерной деформации $\tilde{\gamma}$. При $\tilde{\gamma} \leq 0,8$ модели обеспечивают достаточную точность.

6. Экспериментально и теоретически подтверждена справедливость ряда гипотез и допущений, использование которых позволяет значительно упростить не только решаемую задачу, но и задачу создания модели циклического деформирования кольцевого многослойного гофрированного демпфера опор роторов ГТД при прецессионном смещении ротора.

Библиографический список

1. Анурьев, В. И. Справочник конструктора – машиностроителя. В 3 т./ В. И. Анурьев. Т. 1. – Изд. 6, перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 736 с.

2. Кондрашов, Н. С. Упругофрикционные характеристики демпферов с гофрированными лентами / Н. С. Кондрашов // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: сб. научных трудов. Вып. 51. – Куйбышев: КуАИ, 1972. – С. 45-62.

3. Многослойные демпферы двигателей летательных аппаратов/ Ю. К. Пономарев, Ю. Н. Проничев, Д. Е. Чегодаев, В. М. Вершигоров, А. Н. Кирилин. – Самара: СГАУ, 1998. – 232 с.

4. Чегодаев, Д.Е. Демпфирование/ Д. Е. Чегодаев, Ю. К. Пономарев. – Самара: СГАУ, 1997. – 334 с.

5. Эскин, И. Д. Циклическое сжатие многослойного однопролётного гофрированного пакета/ И. Д. Эскин, Р. И. Алкеев,

И. В. Иващенко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2012. – №3. – С. 97-106.

6. Эскин, И. Д. Циклическое сжатие многослойного многопролетного пакета/

И. Д. Эскин, Р. И. Алкеев, В. И. Иващенко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2013. – №1.

EXPERIMENTAL AND DESIGN ANALYSIS OF MODELS OF CYCLIC COMPRESSION FOR A MULTILAYER MULTISPAN PACKAGE OF CORRUGATED SHEETS

© 2013 I. D. Eskin, R. I. Alkeev, V. I. Ivashchenko

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The paper presents a solution of the task on cyclic compression of a laminated corrugated multispans packet assuming no rotation of the sections located at the vertices of corrugations (simplified model). Relationships describing any loading process in the field of elastic-hysteresis loops of the package are obtained. The relationships are experimentally analyzed in the range exceeding that of corrugated package parameters applied in practice.

Multilayer multispans package of corrugated sheets, cyclic compression, simplified model, experimental and design analysis.

Информация об авторах

Эскин Изольд Давидович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: eskinid_33@mail.ru. Область научных интересов: конструкционное демпфирование, динамика и прочность.

Алкеев Руслан Иванович, ассистент кафедры инженерной графики, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: ruruslan@hotmail.ru. Область научных интересов: конструкционное демпфирование, динамика и прочность.

Иващенко Владимир Иванович кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: ivashch@yandex.ru. Область научных интересов: конструкционное демпфирование, динамика и прочность.

Eskin Izold Davidovich, candidate of technical science, senior researcher, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: eskinid_33@mail.ru. Area of research: structural damping, dynamics and strength.

Alkeev Ruslan Ivanovich, assistant of the engineering drawing department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: ruruslan@hotmail.ru. Area of research: structural damping, dynamics and strength.

Ivashchenko Vladimir Ivanovich, candidate of technical science; associate professor, head of the engineering drawing department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: ivashch@yandex.ru. Area of research: structural damping, dynamics and strength.