

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНОГО МНОГОПРОЛЁТНОГО ГОФРИРОВАННОГО ПАКЕТА

© 2020

**Р. И. Алкеев** доцент кафедры инженерной графики;  
Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва;  
[wild\\_cat\\_ruru@mail.ru](mailto:wild_cat_ruru@mail.ru)

**В. И. Сусликов** кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции  
и проектирования двигателей летательных аппаратов;  
Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва;  
[suslikov\\_v\\_i@yandex.ru](mailto:suslikov_v_i@yandex.ru)

**И. Д. Эскин** кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики;  
Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва;  
[Izold.eskinid@mail.ru](mailto:Izold.eskinid@mail.ru)

Методом конечных элементов с использованием объёмной модели (3D-модели) деформации пакета редактора «Ansys» выполнено решение задачи о циклическом сжатии многослойного многопролётного гофрированного пакета с учётом его пластической деформации, сложного закона её распространения и взаимных упругих проскальзываний с сухим трением по вершинам гофров и в локальных областях в вершинах гофров по лентам пакета, справедливое для любой геометрической формы гофра. Это решение можно рассматривать как вторую часть общей сложной нелинейной задачи о циклическом сжатии многослойного многопролётного гофрированного пакета с сухим трением на контактных поверхностях. Полученное решение позволяет построить любые процессы загрузки в поле упругогистерезисных петель пакета. Проведено сравнение упругофрикционных характеристик пакета, полученных расчётом, с экспериментальными, показавшее их хорошее совпадение. Исследовано влияние параметров гофрированного пакета на его упругофрикционные характеристики. Определён ряд свойств пакета, позволивших сделать выводы и сформулировать рекомендации, позволяющие почти во всех случаях практического использования гофрированных пакетов определиться с числом лент пакета, требуемой точностью изготовления гофров его лент, выбором геометрической формы гофров. Полученное решение может быть использовано для определения эффективности бамперного и пенальных защитных устройств при краш-испытаниях автомобиля на фронтальный и боковой удары и определения расчётным подбором оптимальных параметров этих устройств. Отдельные результаты и рекомендации работы могут быть полезными для расчётного подбора параметров демпфирующих элементов блисков, пустотелых широкохордовых лопаток вентиляторов авиационных газотурбинных двигателей, кольцевых демпферов опор роторов ракетных двигателей, демпфирующие элементы которых выполнены в виде многослойных многопролётных гофрированных пакетов.

*Многослойный многопролётный гофрированный пакет; циклическое сжатие; пластические деформации; метод конечных элементов.*

---

*Цитирование:* Алкеев Р.И., Сусликов В.И., Эскин И.Д. Исследование свойств многослойного многопролётного гофрированного пакета // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2020. Т. 19, № 2. С. 63-72. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-2-63-72

### Введение

В статье продолжено исследование [1 – 4] упругофрикционных и прочностных характеристик многослойных многопролётных гофрированных пакетов. Методом конечных элементов (МКЭ) с использованием объёмной модели (3D-модели) деформации пакета редактора «Ansys» выполнено решение задачи о циклическом сжатии многослойного многопролётного гофрированного пакета с учётом его пластической дефор-

мации, сложного закона её распространения и взаимных упругих проскальзываний с сухим трением по вершинам гофров и в локальных областях в вершинах гофров по лентам пакета, справедливое для любой геометрической формы гофра. Полученное решение позволяет построить любые процессы загрузки в поле упругогистерезисных петель пакета.

Многослойные многопролётные гофрированные пакеты благодаря их высокой демпфирующей способности применяются в технике в качестве демпфирующих устройств. Так кольцевые многослойные многопролётные гофрированные пакеты используются в качестве демпферов опор роторов в авиационных газотурбинных двигателях (ГТД) НК8, НК8-4, НК22, НК144, турбонасосных агрегатах (ТНА) ракетных двигателей [5], в качестве разгрузочного устройства демпферов опор роторов авиационных ГТД [6]. В газотурбинных двигателях применяются пакеты кольцевых лент в опорах трубопроводов [7] для снижения их вибраций. В последнее время появились патенты РФ на конструкции блисков роторов компрессоров ГТД с оригинальными конструкциями демпферов [8] для гашения вибраций их рабочих лопаток и длинных пустотелых широкохордых лопаток вентиляторов авиационных двухконтурных турбореактивных двигателей (ДТРД), в которых использованы кольцевые многослойные многопролётные гофрированные пакеты, и на конструкции длинных пустотелых широкохордых лопаток вентиляторов авиационных ДТРД с демпфером в виде многослойных многопролётных гофрированных пакетов [9], а также на бамперные и пенальные устройства с многопролётными пакетами гофрированных лент, защищающие автомобили, водителя и пассажиров при аварии [10 – 14]. Многослойные гофрированные пакеты применяются также в качестве упругих элементов, создающих сдвливающую нагрузку между слоями рессор [15; 16].

Результаты исследования могут быть использованы для создания методик расчёта этих устройств как многоразового действия, работающих в области упругих деформаций, так и однократного действия, работающих как в области упругих, так и пластических деформаций.

### Многослойный многопролётный гофрированный пакет

В расчётном исследовании циклического сжатия многослойного многопролётного гофрированного пакета использовалась объёмная (3D) расчётная модель пакета (рис. 1). Модель можно использовать для определения упругопластической и фрикционной характеристики (УПФХ) и прочностной характеристики пакета заданной ширины  $b$ .

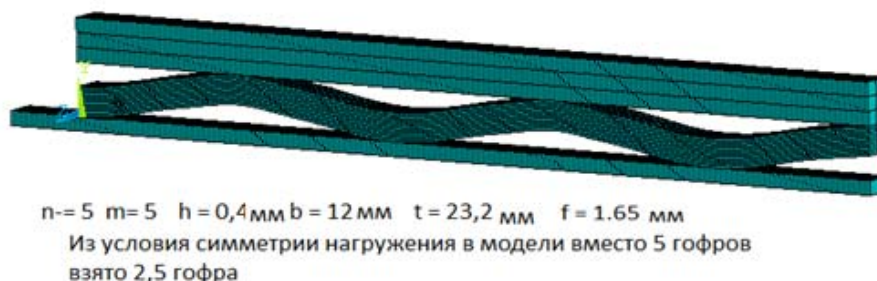


Рис. 1. Расчётная объёмная 3D-модель многослойного многопролётного гофрированного пакета

Распространение пластических деформаций и упругих взаимных проскальзываний лент друг относительно друга и плит при циклическом сжатии многослойного многопролётного гофрированного пакета в первичном и повторных процессах нагружения описано в [4].

В первичном нагрузочном процессе пакет деформируется в полностью расслоённом состоянии. Условия в любом  $i$ -м контакте в  $j$ -м сечении пакета в этом процессе определяются как

$$F_{nij} = K_{nij}u_{nij}; F_{tij} = K_{tij}u_{tij} = \mu K_{nij}u_{nij} \text{ при } u_{nij} \leq 0,$$

где  $F_{nij}$  – нормальная контактная сила;  $K_{nij}$  – нормальная контактная жёсткость;  $u_{nij}$  – нормальная деформация контакта;  $F_{tij}$  – касательная контактная сила;  $K_{tij}$  – касательная контактная жёсткость;  $u_{tij}$  – касательная деформация контакта в этом контакте.

На первом этапе любого повторного разгрузочного или нагрузочного процесса пакет деформируется как чисто упругий многопролётный многослойный пакет с заделанными вершинами, с «слипшимися» контактами, в которых  $F_{nij} \neq 0$ . Условие «слипания» в любом  $i$ -м контакте в  $j$ -м сечении пакета в этом процессе определяется как

$$|F_{tij}| = |K_{tij} u_{tij}| < |\mu K_{nij} u_{nij}|.$$

Первый этап и любой  $k$ -й этап процесса закончится, когда согласно описанной выше программе распространения расслоений в  $i$ -м контакте выполнится условие:

$$|F_{tij}| = |K_{tij} u_{tij}| = |\mu K_{nij} u_{nij}|.$$

Это условие расслоения  $i$ -го контакта будет выполняться до конца повторного процесса, а сам контакт до конца этого процесса (любой процесс деформирования пакета заканчивается, когда приращение деформации  $\Delta u$  сменит знак) будет деформироваться расслоённым.

Сравнение результатов расчёта многослойного многопролётного гофрированного пакета, расчётная 3D-модель которого представлена на рис. 1, с результатами эксперимента (рис. 2) показало их достаточно хорошее совпадение.

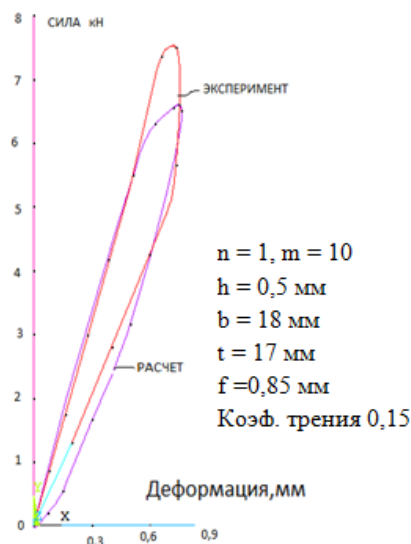


Рис. 2. Сравнение результатов расчёта и эксперимента

Исследовалось влияние увеличения числа гофров  $t$  и лент  $n$  в гофрированном пакете на его упругофрикционную характеристику (УФХ) (рис. 3, 4). Оценка этих влияний производилась при одинаковых других параметрах, оказывающих влияние на УФХ пакетов.

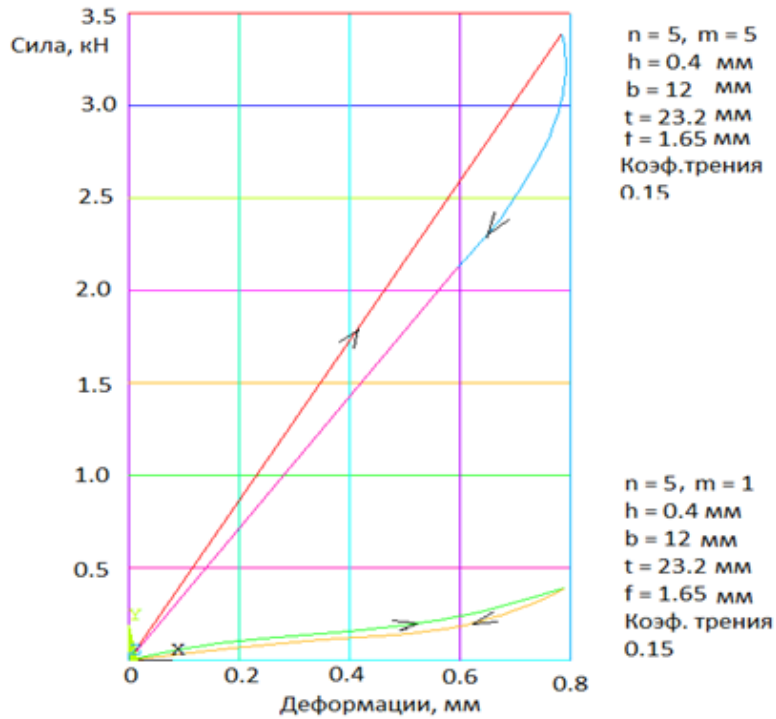


Рис. 3. Влияние увеличения числа гофров  $t$  пакета на УФХ

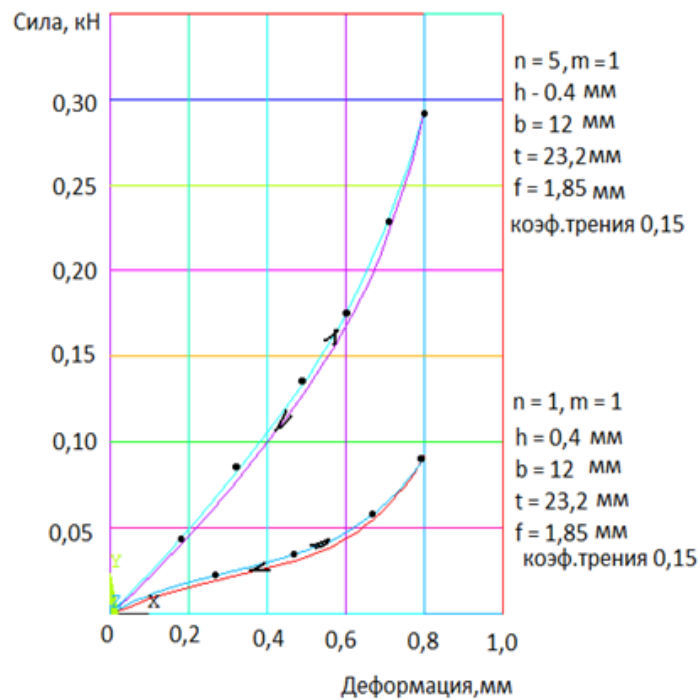


Рис. 4. Влияние увеличения числа лент  $n$  пакета на УФХ

Из рис. 3 видно, что увеличение числа гофров  $t$  в пакете с одного до пяти увеличивает среднециклическую жёсткость пакета и величину рассеянной за цикл нагружения энергии примерно в 9,5 раза, а увеличение числа лент в пакете  $n$  (рис. 4) с одной до пяти – всего лишь в 3,2 раза. Следовательно увеличение числа гофров в разы интенсив-

нее влияет на УФХ пакета, чем увеличение числа лент. Одной из существенных физических причин такой разницы во влиянии этих параметров является то, что величина взаимного упругого проскальзывания каждой следующей вершины гофра относительно плиты определяется как сумма проскальзываний собственно этой вершины при сжатии гофра и суммы проскальзываний предыдущих вершин, расположенных в направлении к заданному концу. Суммарное взаимное проскальзывание всех лент в этом сечении равно сумме взаимных проскальзываний в контактах лент в этой вершине гофра. Оно при конструктивных значениях параметров  $m, n, f/t$ , по нашим оценкам, в 4 – 5 и более раз меньше взаимного проскальзывания этой вершины по плите. Кроме того, сила трения, совершающая работу на этом проскальзывании, приблизительно в два раза больше среднего значения сил трения, действующих в этом сечении на одну ленту из каждой пары контактирующих лент. Произведение этого среднего значения сил трения на суммарное значение упругих взаимных проскальзываний лент в этом сечении равно работе сил сухого трения на этих взаимных проскальзываниях лент относительно друг друга. Отсюда можно сделать вывод, что при циклическом сжатии многопролётного многослойного гофрированного пакета при конструктивном значении параметров  $m, n, f/t$  (в работе рассматриваются только пакеты с пологими гофрами) энергия, рассеиваемая на границах пакета за счёт работы сил сухого трения на проскальзываниях вершин гофров пакета относительно плит, составляет 85 – 90 % и более полной энергии, рассеянной пакетом.

На этом качестве пакета и основывается предложение изготавливать демпфер или его демпфирующий элемент в виде однослойного или двухслойного, или трёхслойного многопролётного гофрированного пакета. Благодаря указанному качеству толщину ленты или лент  $h$  пакета можно расчётом подобрать так, что его УФХ (зависимости среднециклической жёсткости и величины рассеянной циклической энергии от деформации сжатия пакета  $y$ ) будут примерно такими же, как у многослойного с большим конструктивным числом лент  $n$  (например,  $n = 10 \div 20$ ) с такими же параметрами  $m, t, f, b$  и  $\mu$  с такими же свойствами материала лент.

Отметим следующее:

Во-первых, габаритный размер многопролётного пакета – его толщина  $H = h$  или  $(2 \div 3)h$  и масса будут в разы меньше, чем у многослойного пакета. Либо в тех же габаритных размерах демпфера, например бамперного защитного устройства автомобиля, можно разместить большее количество последовательно соединённых пакетов. При этом величина энергии, рассеянной устройством при ударе, увеличится в  $k = n_{\text{п}}/n_{\text{пм}}$  раз. Здесь  $n_{\text{п}}$  – число пакетов в бамперном устройстве при  $n = 1 \div 3$  ленте в пакете,  $n_{\text{пм}}$  – число многослойных пакетов в бамперном устройстве.

Во-вторых, у многопролётного пакета, по сравнению с многослойным пакетом, технологически гораздо проще обеспечить отсутствие зазоров в вершинах гофров между лентами пакета (при  $n = 2 \div 3$ ) или допустимую их величину изготовлением пакета (сразу всех лент пакета) холодной штамповкой и при необходимости после нанесения износостойкого покрытия на ленты выполнением финишной холодной штамповки пакета.

Отметим, что применение многослойных многопролётных гофрированных пакетов вместо пакетов с небольшим числом лент ( $n = 1 \div 3$ ) может оказаться целесообразным в демпфирующих устройствах многократного использования, когда при применении пакетов ( $n = 1 \div 3$ ) их прочностная характеристика окажется неудовлетворительной.

## Заключение

1. Получено общее решение задачи о циклическом сжатии между двумя параллельными жёсткими плитами многопролётного многослойного гофрированного пакета ( $m = 1 \div m, n = 1 \div n$ ) с сухим трением на его контактных поверхностях с учётом пластических деформаций, геометрической формы гофра, отсутствия или наличия зазоров между лентами пакета. Решение позволяет определять УФХ пакета (построить любой процесс нагружения в поле упругогистерезисных петель пакета) и определить прочностную характеристику пакета.

2. Показано хорошее совпадение результатов расчёта с экспериментальными данными.

3. Проведено расчётное исследование влияния геометрической формы гофра на его жесткостную характеристику. Показано, что при одних и тех же значениях геометрических параметров гофров ( $m = 1, n = 1$ )  $h, b, t, f$ , изготовленных из одной и той же ленты с одним и тем же коэффициентом трения  $\mu$ , разница в жёсткостях между гофром с прямыми склонами с вершиной, очерченной по радиусу (гофр с наибольшей жёсткостью), и гофром, описанным косинусным законом (гофр с наименьшей жёсткостью), может составлять 30% и более. Следовательно влияние геометрической формы гофра на его жесткостную характеристику может быть весьма значительным.

4. Решение задачи выполнено с достоверным учётом сложных реально протекающих при циклическом сжатии гофрированного пакета процессов постепенного расширения пластических деформаций и взаимных упругих проскальзываний с сухим трением по лентам (слоям) и вершинам гофров пакета. Показано, что эффект суммирования воздействия сил сухого трения в направлении к заделанному концу пакета оказывает сильное влияние на его УФХ: повышает среднециклическую жёсткость пакета и величину рассеянной энергии, интенсивно растёт с ростом числа гофров пакета  $m$ . При числе гофров  $m \geq 10$  неучёт этого эффекта приводит к неприемлемым (в несколько сотен процентов) ошибкам в величинах этих параметров.

5. Проведённое исследование влияния наличия зазоров между лентами в вершинах гофров показало сильное влияние величины этих зазоров на УФХ пакета. При равномерном распределении зазоров между лентами в пакете ( $m = 1, n = 5$ ) наличие суммарного зазора в 12% от выгиба  $f$  гофров пакета снизило жёсткость и величину рассеянной энергии по сравнению с аналогичным пакетом, но без зазоров между лентами, в 2,4 раза. Следовательно при изготовлении пакетов для обеспечения стабильности их УФХ и прочностной характеристики в партии изделий необходимо предъявлять высокие требования к обеспечению допустимой величины этих зазоров или их отсутствия. Для этого предлагается в технологию изготовления пакета ввести финишную холодную штамповку пакета, окончательно собранного из лент, покрытых износостойким материалом.

6. Полученное решение задачи о циклическом сжатии однослойного и многослойного многопролётного гофрированного пакета может быть использовано для расчёта параметров бамперного и пенальных защитных устройств автомобиля и определения процессов нагружения автомобиля с этими устройствами при краш-испытаниях на фронтальный и боковой удары, для расчёта сдавливающей нагрузки между слоями ресурсы.

7. Предложено в бамперных защитных устройствах и в демпферах опор роторов ТНА применять вместо многослойных многопролётных гофрированных пакетов аналогичные многопролётные гофрированные пакеты, собранные из  $n = 1 \div 3$  лент. Показано, что пакеты с  $n = 1 \div 3$  лент при толщине их лент  $h = h_m \sqrt[3]{n_m}$  ( $h_m$  – толщина ленты мно-

гослойного пакета,  $n_m$  – число лент многослойного пакета) и прочих параметрах, одинаковых с аналогичными параметрами многослойного пакета, имеют примерно такие же УФХ, как и многослойные пакеты, и при этом имеют ряд важных преимуществ.

### Библиографический список

1. Кондрашов Н.С. Упругофрикционные характеристики демпферов с гофрированными лентами // В сб.: «Вибрационная прочность и надёжность двигателей и систем летательных аппаратов». Вып. 51. Куйбышев: КуАИ, 1972. С. 45-62.

2. Эскин И.Д., Алкеев Р.И., Иващенко В.И. Циклическое сжатие многослойного многопролётного гофрированного пакета // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2013. № 1 (39). С. 178-191. DOI: 10.18287/1998-6629-2013-0-1(39)-178-191

3. Эскин И.Д., Алкеев Р.И., Иващенко В.И. Экспериментальные и расчётные исследования моделей циклического сжатия многослойного многопролётного гофрированного пакета // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2013. № 1 (39). С. 192-200. DOI: 10.18287/1998-6629-2013-0-1(39)-192-200

4. Алкеев Р.И., Сусликов В.И., Эскин И.Д. Циклическое сжатие многослойного многопролётного гофрированного пакета с учётом пластической деформации его лент // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2020. Т. 19, № 1. С. 106-117. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-1-106-117

5. Пономарев Ю.К., Проничев Ю.Н., Чегодаев Д.Е., Вершигоров В.М., Кирилин А.Н. Многослойные демпферы двигателей летательных аппаратов. Самара: СГАУ, 1998. 234 с.

6. Иващенко В.И., Эскин И.Д. Методика расчёта разгрузочного устройства для демпферов опор роторов // В сб.: «Вибрационная прочность и надёжность двигателей и систем летательных аппаратов». Куйбышев: КуАИ, 1985. С. 39-45.

7. Мальтеев М.А., Пономарев Ю.К. Методология определения упругодиссипативных характеристик опор трубопроводов с многослойными пакетами // В сб.: «Надёжность механических систем». Самара: СГТУ, 1995. С. 146.

8. Эскин И.Д., Ермаков А.И., Гаршин Е.А. Ротор компрессора авиационного газотурбинного двигателя со спаркой блисков и спаркой блиска с «классическим» рабочим колесом и со спаркой «классического» рабочего колеса с рабочим колесом с четвертой по шестую ступень с устройствами демпфирования колебаний рабочих лопаток этих блисков и рабочих колёс, ротор вентилятора и ротор бустера с устройством демпфирования колебаний рабочих широкохордных лопаток вентилятора, способ сборки спарки с демпфирующим устройством: патент РФ № 2665789; опубл. 04.09.2018; бюл. № 25.

9. Эскин И.Д., Ермаков А.И. Длинная пустотелая широкохордная лопатка вентилятора и способ её изготовления: патент РФ № 2626523; опубл. 28.07.2017; бюл. № 22.

10. Эскин И.Д., Сусликов В.И., Алкеев Р.И. Бамперное устройство автомобиля: патент РФ № 2506177; опубл. 10.02.2014; бюл. № 4.

11. Эскин И.Д., Алкеев Р.И., Сусликов В.И. Бамперное защитное устройство для легковых автомобилей и способ изготовления его упругогистерезисного элемента: патент РФ № 2559675, опубл. 10.08.2015; бюл. № 22.

12. Эскин И.Д., Храмова А.А., Сусликов В.И. Бамперное защитное устройство автомобиля: патент РФ № 2478052; опубл. 27.03.2013; бюл. № 9.

13. Эскин И.Д., Алкеев Р.И. Защитное устройство, повышающее безопасность водителя и пассажиров при аварии автомобиля: патент РФ № 78463; опубл. 27.11.2008.

14. Эскин И.Д., Алкеев Р.И. Пенальное защитное устройство для повышения безопасности водителя и пассажиров при аварии автомобиля: патент РФ № 82171; опубл. 20.04.2009.

15. Эскин И.Д. Исследование обобщённых упругофрикционных характеристик демпферов и амортизаторов авиационных двигателей. Дис. ... канд. техн. наук. Куйбышев, 1973. 315 с.

16. Эскин И.Д., Ермаков А.И. Пустотелая широкохордая лопатка вентилятора. Способ её изготовления: патент РФ № 2622682; опубл. 19.06.2017; бюл. № 17.

## PROPERTIES OF A MULTI-LAYER MULTI-SPAN CORRUGATED PACKAGE

© 2020

- R. I. Alkeev** Associate Professor of the Department of Engineering Graphics; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; [wild\\_cat\\_ruru@mail.ru](mailto:wild_cat_ruru@mail.ru)
- V. I. Suslikov** Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Aircraft Engine Design and Construction; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; [suslikov\\_v\\_i@yandex.ru](mailto:suslikov_v_i@yandex.ru)
- I. D. Eskin** Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Aircraft Engine Design and Construction; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; [eskinid\\_33@mail.ru](mailto:eskinid_33@mail.ru)

In this article we deal with the problem of cyclic compression of a multilayer multi-span corrugated package by using the finite element method (FEM) and a three-dimensional model (3-D model) of deformation in Ansys. We take into account plastic deformation of the package, as well as the complex law of its propagation and mutual elastic slippage with dry friction over tops of corrugation and in local regions at the tops of corrugation along the package tapes, valid for any geometrical shape of corrugation. This solution can be considered as the second part of the general complex nonlinear problem of cyclic compression of a multilayer multi-span corrugated package with dry friction on contact surfaces. The solution obtained makes it possible to construct any loading processes in the field of elastic-hysteresis package loops. The comparison of elastic-frictional characteristics of the package (EFCs) obtained by calculation and the experimental ones showed their good agreement. The influence of the corrugated package parameters on its EFCs was studied. A number of properties of the package were determined allowing us to draw conclusions and formulate recommendations that make it possible to define the number of package tapes, the required accuracy in the manufacture of corrugations of its tapes, and the choice of the geometric shape of corrugations in almost all cases of practical use of corrugated packages. The solution obtained can be used to determine the effectiveness of a bumper and other protective devices during crash tests of a car for frontal and side impacts and to determine the optimal parameters of these devices by calculating. Certain results and recommendations of this paper can be useful for the calculation of parameters of damping elements of a blisk, hollow wide-chord blades of aircraft GTE fans, ring dampers of rocket engine rotors, as their damping elements are made in the form of multilayer, multi-span corrugated packages.

*Multilayer multi-span corrugated package; cyclic compression; plastic deformation; finite element method.*

---

*Citation:* Alkeev R.I., Suslikov V.I., Eskin I.D. Properties of a multi-layer multi-span corrugated package. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2020. V. 19, no. 2. P. 63-72. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-2-63-72



## References

1. Kondrashov N.S. Uprugofriksionnye kharakteristiki dempferov s gofirovannyimi lentami. *V sb.: «Vibratsionnaya prochnost' i nadezhnost' dvigateley i sistem letatel'nykh apparatov»*. Vyp. 51. Kuybyshev: Kuybyshev Aviation Institute Publ., 1972. P. 45-62. (In Russ.)
2. Eskin I.D., Alkeev R.I., Ivaschenko V.I. Cyclic compression of a multilayer multispans laminated package of corrugated sheets. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*. 2013. No. 1 (39). P. 178-191. (In Russ.). DOI: 10.18287/1998-6629-2013-0-1(39)-178-191
3. Eskin I.D., Alkeev R.I., Ivashchenko V.I. Experimental and design analysis of models of cyclic compression for a multilayer multispans package of corrugated sheets. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*. 2013. No. 1 (39). P. 192-200. (In Russ.). DOI: 10.18287/1998-6629-2013-0-1(39)-192-200
4. Alkeev R.I., Suslikov V.I., Eskin I.D. Cyclic compression of a multi-layer multi-spans corrugated package with plastic deformation of its tapes. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2020. V. 19, no. 1. P. 106-117. (In Russ.). DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-1-106-117
5. Ponomarev Yu.K., Pronichev Yu.N., Chegodaev D.E., Vershigorov V.M., Kirilin A.N. *Mnogosloynnye dempfery dvigateley letatel'nykh apparatov* [Multilayer dampers of aircraft engines]. Samara: Samara State Aerospace University Publ., 1998. 234 p.
6. Ivashchenko V.I., Eskin I.D. Metodika rascheta razgruzochnogo ustroystva dlya dempferov opor rotorov. *V sb.: «Vibratsionnaya prochnost' i nadezhnost' dvigateley i sistem letatel'nykh apparatov»*. Kuybyshev: Kuybyshev Aviation Institute Publ., 1985. P. 39-45. (In Russ.)
7. Mal'teev M.A., Ponomarev Yu.K. Metodologiya opredeleniya uprugodissipativnykh kharakteristik opor truboprovodov s mnogosloynnymi paketami. *V sb.: «Nadezhnost' mekhanicheskikh sistem»*. Samara: Samara State Technical University Publ., 1995. P. 146. (In Russ.)
8. Eskin I.D., Ermakov A.I., Garshin E.A. *Rotor kompressora aviatsionnogo gazoturbinnogo dvigatelya so sparkoy bliskov i sparkoy bliska s «klassicheskim» rabochim kolesom i so sparkoy «klassicheskogo» rabocheho kolesa s rabochim kolesom s chetvertoy po shestuyu stupen' s ustroystvami dempfirovaniya kolebaniy rabochikh lopatok etikh bliskov i rabochikh koles, rotor ventilyatora i rotor bustera s ustroystvom dempfirovaniya kolebaniy rabochikh shirokokhordnykh lopatok ventilyatora, sposob sborki sparki s dempfiruyushchim ustroystvom* [Rotor of aircraft gas-turbine engine compressor with twin of blisks and twin of blisk with classic impeller and with twin of classic impeller with impeller with fourth-to-sixth stage with devices for damping vibrations of workers of these clips and impellers, fan rotor and booster rotor with device for damping of vibrations of working wide chord blades of fan, twin assembly method with damper device]. Patent RF, no. 2665789, 2018. (Publ. 04.09.2018, bull. no. 25)
9. Eskin I.D., Ermakov A.I. *Dlinnaya pustotelaya shirokokhordnaya lopatka ventilyatora i sposob ee izgotovleniya* [Long hollow wide chord fan blade and method of its manufacture]. Patent RF, no. 2626523, 2017. (Publ. 28.07.2017, bull. no. 22)
10. Eskin I.D., Suslikov V.I., Alkeev R.I. *Bampernoie ustroystvo avtomobilya* [Car protective bumper]. Patent RF, no. 2506177, 2014. (Publ. 10.02.2014, bull. no. 4)
11. Eskin I.D., Alkeev R.I., Suslikov V.I. *Bampernoie zashchitnoe ustroystvo dlya legkovykh avtomobiley i sposob izgotovleniya ego uprugogistereznogo elementa* [Car bumper and method of its strain hysteresis element fabrication]. Patent RF, no. 2559675, 2015. (Publ. 10.08.2015, bull. no. 22)

12. Eskin I.D., Khramova A.A., Suslikov V.I. *Bampernoie zashchitnoe ustroystvo avtomobilya* [Car protective bumper]. Patent RF, no. 2478052, 2013. (Publ. 27.03.2013, bull. no. 9)

13. Eskin I.D., Alkeev R.I. *Zashchitnoe ustroystvo, povyshayushchee bezopasnost' voditelya i passazhirov pri avarii avtomobilya* [Protective device improving the safety of the driver and passengers in the event of a car accident]. Patent RF, no. 78463, 2008. (Publ. 27.11.2008)

14. Eskin I.D., Alkeev R.I. *Penal'noe zashchitnoe ustroystvo dlya povysheniya bezopasnosti voditelya i passazhirov pri avarii avtomobilya* [Protective device improving the safety of the driver and passengers in the event of a car accident]. Patent RF, no. 82171, 2009. (Publ. 20.04.2009)

15. Eskin I.D. *Issledovanie obobshchennykh uprugofriktsionnykh kharakteristik dempferov i amortizatorov aviatsionnykh dvigateley. Dis. ... kand. tekhn. nauk* [Analysis of generalized elastic-friction characteristics of dampers and shock absorbers of aircraft engines: Candidate of Science (Engineering) Dissertation]. Kuybyshev, 1973. 315 p.

16. Eskin I.D., Ermakov A.I. *Pustotelaya shirokokhordaya lopatka ventilyatora. Sposob ee izgotovleniya* [Hollow wide-chord blade of the fan and method of its manufacture]. Patent RF, no. 2622682, 2017. (Publ. 19.06.2017, bull. no. 17)