

И. Д. ЭСКИН

ДЕМПФИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПАКЕТОВ

В работе проведено расчетное исследование зависимости величин, характеризующих демпфирующие свойства многослойного пакета — рассеянной циклической энергии ΔW и коэффициента поглощения ψ от условий, налагаемых практическим использованием пакетов [1] в качестве демпфирующего устройства. Исследована зависимость экстремальных значений этих величин от числа прокладок и относительной толщины накладки пакета k^*

Проведено сравнение демпфирующих свойств многослойных пакетов с двухслойными и трехслойными и выявлены преимущества многослойных демпфирующих элементов.

Эти исследования показали целесообразность практического применения многослойных демпфирующих пакетов [1], так как они обладают высокими демпфирующими свойствами; могут служить несущими элементами конструкции, т. к. при воздействии на пакет постоянной силы его демпфирующие жесткостные свойства не меняются [2]; могут работать в зонах с высокими температурами, в различных агрессивных средах. Кроме того, легко управлять их жесткостными и демпфирующими свойствами. Они компактны, конструктивны, просты в изготовлении и сборке.

В настоящее время разработано несколько конструкций демпферов, выполненных в виде многослойных пакетов, для трубопроводов, рабочих лопаток, лопаток НА ГТД [3] и опор роторов ГТД.

В процессе разработки демпферов такого типа большое значение приобретает исследование статике демпфирующего устройства, так как величину рассеянной циклической энергии системы с данным демпфером можно определить по статическому циклу демпферов в интервале нагрузок, равных амплитудным значениям сил, действующих на демпфер в колеблющейся системе**

См. стр. 31 наст. сб.

** Инерционными силами масс демпфера пренебрегаем.

Рассмотрим два случая.

1. Заданы амплитуда силы P , действующая на демпфер в системе, наибольший прогиб V и наибольшее напряжение в демпфере σ .

2. Заданы амплитуда силы P , действующая на демпфер в системе, и наибольшее напряжение в демпфере σ .

Оба случая подробно исследуются на примере многослойной консоли с коэффициентом нагрузки $\alpha_{он} < 1^*$.

СЛУЧАЙ 1. Чтобы задача стала определенной, зададимся еще одним параметром демпфера, например, длиной пакета l . Следовательно, обеспечены прочность демпфера при включении его в систему, допустимый наибольший прогиб в нем (и, следовательно, в системе) и задана средняя жесткость

$$C = \frac{P}{V}.$$

Исследование функций рассеянной энергии $\Delta W^{(\sigma V)}$ и коэффициента поглощения ψ удобнее всего вести в относительных координатах [4]:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P}{R}; \quad r = \frac{V}{V(x_{01})} = \frac{(n+k)^3}{A_4} (A_4 \eta - A_5); \\ \delta &= \frac{\sigma}{\sigma(x_{01})} = \frac{3(n+k)^2}{A_2} (A_6 \eta - A_7). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь

$R = fp \cdot bh$ — обобщенная сила трения,

p — удельная сдавливающая нагрузка,

f — коэффициент трения скольжения на контактных поверхностях пакета,

b — ширина пакета,

V — наибольший прогиб пакета,

$V(x_{01})$ — прогиб пакета в момент проскальзывания 1-го слоя, лежащего в середине пакета,

σ — наибольшее напряжение в пакете,

$\sigma(x_{01})$ — наибольшее напряжение в пакете в момент проскальзывания 1-го слоя,

$A_1 \div A_8$ — коэффициенты, зависящие только от n и k (их значения для $n = 1 \div 25$, $k = 2 \div 5$ см номограммы $A_1 \div A_8$).

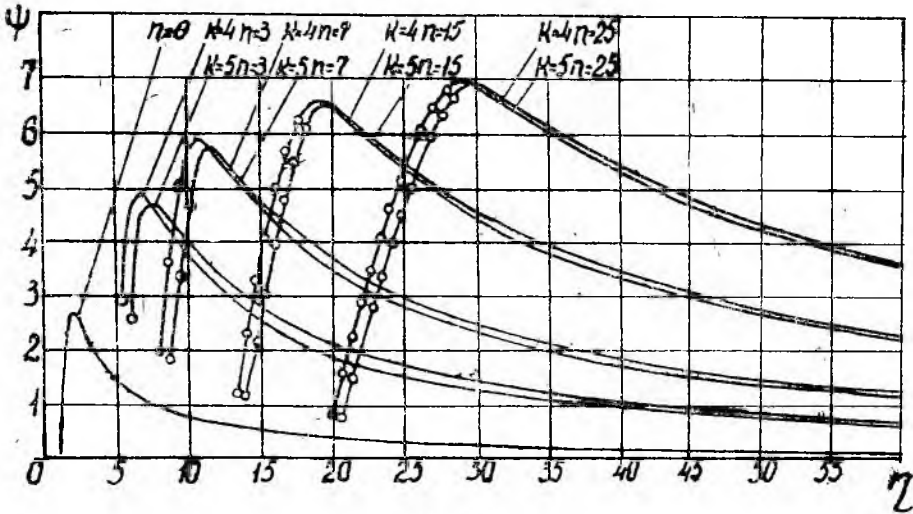
Подставим относительную амплитуду силы в выражение (1.16) [1] и, заменив в нем члены, зависящие только от n и k , коэффициентами A_1 , A_2 и т. д., получим выражение для рассеянной энергии и коэффициента поглощения в следующем виде:

$$\Delta W = 12PV \frac{A_1 \left(\eta - \frac{2}{3} A_2 \right) - \frac{2}{3} A_3}{\eta (A_4 \eta - A_5)} = \frac{1}{2} PV \psi. \quad (2)$$

* Коэффициент нагрузки $\alpha_{он}$ есть отношение силы, при которой взаимные скольжения достигают n -ой контактной поверхности к амплитудному значению действующей силы.

$$\psi = \frac{24 \left[A_1 \left(\eta - \frac{2}{3} A_2 \right) - \frac{2}{3} A_3 \right]}{\eta (A_4 \eta - A_5)} \quad (3)$$

Как видно из (3) и (1), коэффициент поглощения является функцией только относительных координат для заданных n и k . Этот факт говорит о том, что пакеты с одинаковыми n , k и ψ описываются одной и той же петлей гистерезиса, построенной в относительных координатах η — r .



Фиг. 1.

Значение относительной координаты, соответствующей максимальным значениям функции $\Delta W^{(\sigma, V)}(\eta)$ и $\psi(\eta)$, будет

$$\eta_{\text{опт}}^{(\sigma, V)} = \frac{2}{3A_1} (A_1 A_2 + A_3) \left(1 + \sqrt{1 - \frac{3}{2} \frac{A_1 A_5}{A_4 (A_1 A_2 + A_3)}} \right) \quad (4)$$

На фиг. 1 приведена зависимость $\psi(\eta)$. В пакетах, у которых при данном значении амплитуды действующей силы взаимные скольжения происходят только на j -контактных поверхностях ($j=1, 3, 5, \dots, n$), функция $\psi(\eta)$ изображается левым крутым участком кривой, рис. 1. Здесь на график нанесены значения $\psi_j(\eta_j)$ пакетов, взаимные скольжения которых достигают только j -ой контактной поверхности ($j=1, 3, 5, \dots, n$). Эти значения подсчитаны по формуле (см. 1.21) [1]

$$\psi_j = \frac{24 A_9^{j-2}}{A_8 \cdot A_5^{j-2}}$$

$$\text{где } A_9 = \sum_{i=1}^{j-2} \frac{n+k+i}{(n+k-i)[(n+k-i)^2-4]}, \quad (5)$$

$$i = 1, 3, 5, \dots, j-2; \quad j = 3, 5, 7, \dots, n,$$

$$A_8 = \frac{(n+k)^3}{(n+k)^2-1} + \sum_{i=1}^{j-2} \frac{(n+k-i)^3 + 4i}{(n+k-i)[(n+k-i)^2-4]},$$

$$i = 1, 3, 5, \dots, j-2; \quad j = 3, 5, 7, \dots, n,$$

$$A_5 = \frac{1}{(n+k)^2-1} + 4 \sum_{i=1}^{j-2} \frac{1}{(n+k-i)[(n+k-i)^2-4]^*},$$

$$i = 1, 3, 5, \dots, j-2; \quad j = 3, 5, 7, \dots, n.$$

Значение относительной амплитуды силы η_j подсчитывалось по формуле:

$$\eta_j = \frac{P_j}{R} = \frac{2}{3} A_8^{j-2}. \quad (6)$$

Максимальное значение коэффициента поглощения и правая пологая ветвь зависимости $\psi(\eta)$ получается у пакетов, на всех контактных поверхностях которых в процессе циклического деформирования происходят взаимные скольжения. Здесь функция изменяется более полого у пакетов с большим числом прокладок.

Значение относительной координаты $\eta_{\text{опт}}^{(\sigma, V)}$ мало отличается от значения $\eta_{j=n}$.

Исследуем зависимости $\psi_{\text{max}}(n, k)$ и $\Delta W_{\text{max}}^{(\sigma, V)}(n, k)$. Подставим в формулу (3) значение оптимальной относительной координаты (4) и значение относительной жесткости, равное

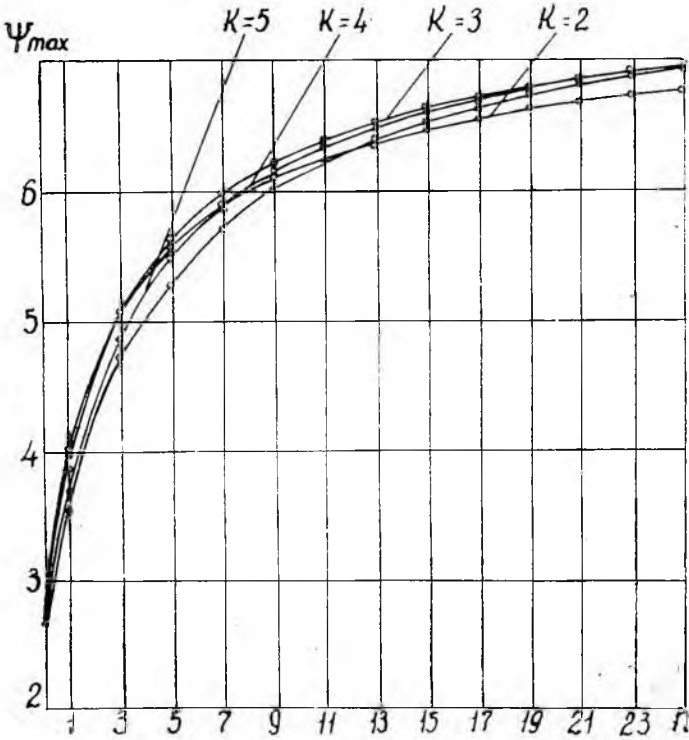
$$e = \frac{C_{1n}}{C_0} = \frac{k^3 + 4n}{4(n+k)^3},$$

покажем, что ψ_{max} есть функция не только величины относительной жесткости пакета, (как это имеет место у систем, где взаимные скольжения сразу распространяются по всем контактным поверхностям), но и членов (зависящих также только от n и k), математически записывающих процесс распространения взаимных скольжений от средних контактных поверхностей пакета к крайним.

* Коэффициенты A_9, A_8, A_5 для значений $n = 3 \div 63$ и $k = 2 \div 5$ табулированы, но в виду недостатка места в сборнике эти таблицы будут помещены в следующих публикациях.

На фиг. 2 приведена зависимость $\psi_{\max}(n, k)$.

Непосредственно вычислить предел, к которому стремится функция $\psi_{\max}(n, k)$ при $n \rightarrow \infty$ не удается. Поэтому, учитывая, что $\lim_{n \rightarrow \infty} e = 0$, введем понятие идеального коэффициента поглощения определенного у пакета, жесткость которого в фазе до скольжения $C_0 = \infty$ и в фазе полного скольжения $C_{In} = 0$. Следовательно, относительная жесткость e такого пакета равна нулю. При этом принято, что взаимные скольжения наступают сразу на всех контактных поверхностях пакета, по всей его длине. Петля гистерезиса



Фиг. 2.

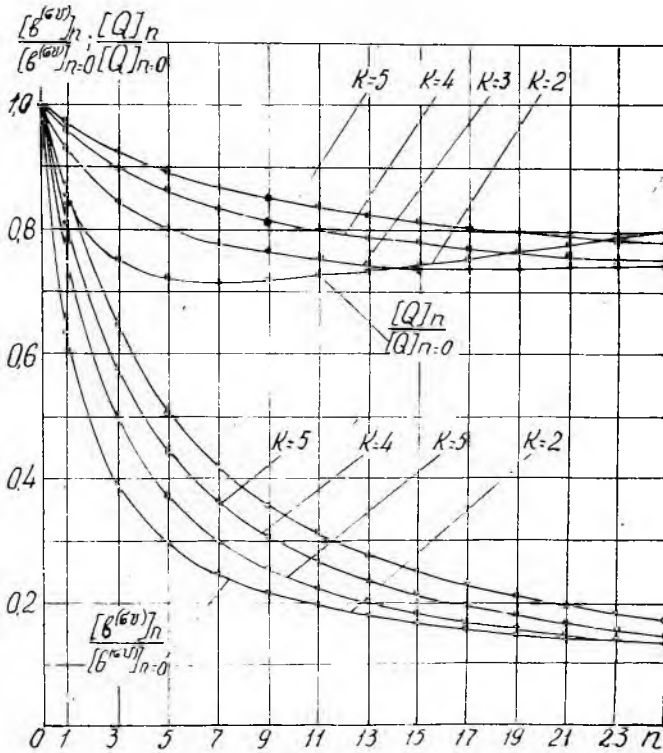
такого пакета имеет вид прямоугольника и, следовательно, $\phi_{нд} = 8$. За коэффициент заполнения идеальной петли гистерезиса примем величину

$$\gamma = \frac{\psi}{\phi_{нд}} \quad (7)$$

В расчетном интервале $n = 0 \div 25$, $k = 2 \div 5$ ψ_{\max} достигает величины ≈ 7 и, следовательно, γ достигает величины $\approx \frac{7}{8}$. Начиная с $n = 15$ прокладок в пакете ψ_{\max} при дальнейшем увеличении n меняется слабо, увеличиваясь всего на 5% при $n = 25$ и на 20% при $n = \infty$.

В исследуемом интервале $k = 2 \div 5$ ψ_{\max} слабо меняется с изменением относительной толщины накладок k (см. фиг. 2). Наибольшего значения функция $\psi_{\max}(k)$ в расчетном интервале $n = 0 \div 25$ достигает при значениях $k = 2,5 \div 3,5$. С ростом n наибольшее значение функции смещается в сторону больших k . (График функции $\psi_{\max}(k)$ не приводится).

Значение ψ_{\max} для двухслойного пакета ($n = 0$) равно только 2,6667 и $\eta_{\text{опт}}^{(\sigma, V)} = 2$.



Фиг. 3.

Вид функции $\Delta W_{\max}(n, k) = \frac{1}{2} PV \psi_{\max}$ аналогичен виду функции $\psi_{\max}(n, k)$ и, следовательно, можно принять, что

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Delta W_{\max}^{(\sigma, V)} = 4PV.$$

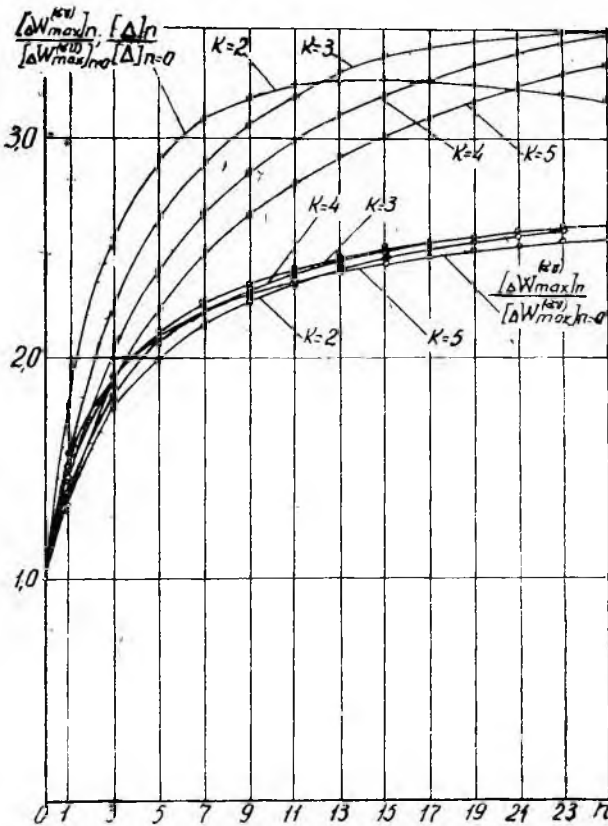
Ширина $b^{(\sigma, V)}$ и толщина $h_0^{(\sigma, V)}$ многослойного пакета определяются из равенства

$$h_0^{(\sigma, V)} = \frac{2}{9} \frac{\sigma l^2}{EV} (n + k) \cdot \frac{A_4 \eta - A_5}{A_6 \eta - A_7} \quad (9)$$

$$b^{(\sigma, V)} = 243 \frac{E^2 V^2 P}{\sigma^3 l^3} \cdot \frac{(A_6 \eta - A_7)^3}{\eta (A_4 \eta - A_5)^2} \quad (10)$$

Толщину прокладки $h^{(\sigma, V)}$ найдем, разделив $h_0^{(\sigma, V)}$ на $(n + k)$.

Результаты сравнения размеров b и h_0 , веса Q , рассеянной циклической энергии ΔW и величин параметров $\Delta = \frac{\Delta W}{Q}$ многослойных пакетов, настроенных на максимальную рассеянную циклическую энергию $\Delta W_{\max}^{(\sigma, V)}$ с двухслойными пакетами с аналогичной настрой-

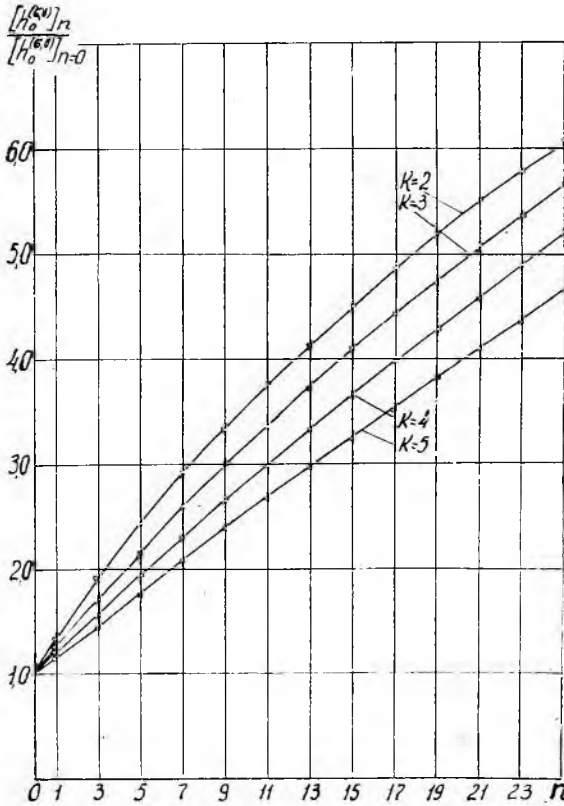


Фиг. 4.

кой приведены на фиг. 3, 4, 5. Толщина многослойного пакета $h_{0_{\text{опт}}}^{(\sigma, V)}$ всегда больше, чем у двухслойного и возрастает с ростом n , ширина $b_{\text{опт}}^{(\sigma, V)}$ многослойного пакета всегда меньше и падает с ростом n , вес многослойных пакетов Q в расчетном интервале $n = 0 \div 25$, $k = 2 \div 5$ всегда меньше, чем у двухслойного пакета. С ростом n вес многослойных пакетов проходит через минимальное

значение, которое с ростом k смещается в сторону больших n и уже для $k = 4$ не попадает в расчетный интервал $n = 0 \div 25$. Максимальная рассеянная энергия $\Delta W_{\max}^{(\sigma, V)}$ в расчетном интервале $n = 0 \div 25$ достигает ($n = 25, k = 4$) величины в 2,62 раза большей, чем у двухслойного пакета, и с ростом n стремится к величине (8).

Параметр Δ , характеризующий степень полезного использования каждой единицы веса демпфирующего устройства, значительно выше у многослойного пакета. С ростом n параметр Δ проходит



Фиг. 5.

через максимальное значение, которое с ростом k смещается в сторону больших n . Максимум Δ сдвинут относительно минимума веса пакета в сторону больших n .

Вышеприведенные результаты сравнения многослойных пакетов с двухслойными не зависят от параметров пакетов и, следовательно, справедливы для любых P, σ, V, l, E . Для определения числа прокладок n пакета, обеспечивающего хорошее использова-

ние веса демпфирующего устройства, исследуются экстремальные свойства функции:

$$\Delta'(n, k, \eta) = \frac{\Delta W}{bh_0 l} \quad (11)$$

(средняя энергия, рассеиваемая единицей объема пакета) в случае многослойных пакетов, пропорциональной параметру Δ

Подставив (2), (4) и (7) в (11), получим

$$\Delta'(n, k, \eta) = \frac{2}{9} \frac{\sigma^2}{E} \frac{A_1 \left(\eta - \frac{2}{3} A_2 \right) - \frac{2}{3} A_3}{(n+k)(A_6 \eta - A_7)^2} \quad (12)$$

Функция $\Delta'(n, k, \eta)$ имеет максимум по переменным η, u, n . Значение оптимальной относительной координаты будет

$$\eta_{\text{опт}\Delta'} = \frac{\frac{4}{3} A_6 (A_1 A_2 + A_3) - A_1 A_7}{A_1 A_6} \quad (13)$$

Величина $\eta_{\text{опт}\Delta'}$ в расчетном интервале $k = 2 \div 5, n = 0 \div 25$ очень мало отличается от величины $\eta_{\text{опт}}^{(\sigma, V)}$.

Подставив (12), (4), (7) в (11), получим

$$[\Delta'(n, k, \eta)]_{\eta=\eta_{\text{опт}\Delta'}} = \frac{\sigma^2}{9E(n+k)} \frac{A_1^2}{A_6 \left(\frac{4}{3} A_1 A_2 A_6 + \frac{4}{3} A_3 A_6 - 2 A_1 A_7 \right)} \quad (14)$$

Расчетным путем исследовалась зависимость функции Δ' от числа прокладок n и относительной толщины k при различных значениях относительной координаты η , включающих значения $\eta_{\text{опт}}^{(\sigma, V)}$ и $\eta_{\text{опт}\Delta'}$.

С ростом относительной координаты η максимальное значение функции Δ' по переменной n смещается в сторону больших n . При значении $\eta_{\text{опт}\Delta'}$ наибольшее значение функции Δ' не попадет в расчетный интервал $n = 0 \div 25: k = 2 \div 3$. Учитывая характер изменения кривых зависимостей $\Delta W_{\text{max}}^{(\sigma, V)}(n, k); \phi_{\text{max}}(n, k); \psi(\eta); [\Delta'(n, k, \eta)]_{\eta=\eta_{\text{опт}\Delta'}}$, можно рекомендовать применение демпфирующих пакетов с большим числом прокладок в пакете $n=21$ и более, обеспечивающих высокие демпфирующие свойства и эффективное использование веса демпфера.

СЛУЧАЙ 2. Зададимся дополнительно двумя параметрами демпфера, например, шириной b и длиной l пакета. Рассеянная энергия будет равна :

$$\Delta W^{(\sigma)} = \frac{4}{3} \frac{\sqrt{l^3 \sigma^2 b P}}{E} \cdot \frac{A_1 \left(\eta - \frac{2}{3} A_2 \right) - \frac{2}{3} A_3}{\sqrt{3\eta(A_6 \eta - A_7)^3}} \quad (15)$$

Средняя энергия, рассеиваемая единицей площади, будет

$$S = \frac{\Delta W}{F} = \frac{4}{3E} \sqrt{\frac{\sigma^2 P}{\beta}} \cdot \frac{A_1 \left(\eta - \frac{2}{3} A_2 \right) - \frac{2}{3} A_3}{\sqrt{3\eta(A_6 \eta - A_7)^3}} \quad (16)$$

$$\beta = \frac{b}{l}$$

Функции (15) и (16) достигают максимума при значении относительной координаты

$$\gamma_{\text{опт}}^{(\sigma)} = \frac{1}{2A_1 A_6} \cdot \left[\frac{4}{3} (A_1 A_2 + A_3) A_6 - \frac{1}{2} A_1 A_7 + \sqrt{\left[\frac{4}{3} (A_1 A_2 + A_3) A_6 - \frac{1}{2} A_1 A_7 \right]^2 - \frac{4}{3} (A_1 A_2 + A_3) A_1 A_6 A_7} \right]. \quad (17)$$

Координата $\gamma_{\text{опт}}^{(\sigma)} > \gamma_{\text{опт}}^{(\sigma, V)}$ и, следовательно, максимальное значение рассеянной энергии $\Delta W_{\text{max}}^{(\sigma)}(S_{\text{max}})$ сдвинуто в сторону больших η от максимума ψ . Толщина прокладки будет равна

$$h^{(\sigma)} = \frac{12Pl}{\sigma b} \left(A_6 - \frac{1}{\eta} A_7 \right). \quad (18)$$

Наибольший прогиб пакета будет

$$V^{(\sigma)} = \frac{1}{9E} \sqrt{\frac{\sigma^3 l^3 b}{P}} \cdot \frac{(A_4 \eta - A_5) \eta}{\sqrt{3\eta(A_6 \eta - A_7)^3}}. \quad (19)$$

Функции $\Delta W_{\text{max}}^{(\sigma)}(n, k)$; $V^{(\sigma)}(n, k)$; $h_0^{(\sigma)}(n, k)$ монотонно возрастают с ростом числа прокладок n (толщина прокладок $h^{(\sigma)}$ падает с ростом n). Отметим, что всегда можно подобрать пакет с такими же величинами наибольшего прогиба V , наибольшего напряжения σ и длины l (шириной b либо толщиной h_0), настроенной на $\Delta W_{\text{max}}^{(\sigma V)}$, который при одинаковом амплитудном значении действующей силы P рассеивал за цикл большее количество энергии, чем пакет, настроенный на $\Delta W_{\text{max}}^{(\sigma)}$, т. е. $\Delta W_{\text{max}}^{(\sigma, V)} = \frac{1}{2} PV\psi_{\text{max}} > \Delta W_{\text{max}}^{(\sigma)} = \frac{1}{2} PV\psi^{(\sigma)}$.

Эти соображения снижают практическую ценность настройки пакета на максимальную рассеянную энергию $\Delta W_{\text{max}}^{(\sigma)}(S_{\text{max}})$. Дополнительно отметим случай, когда задана амплитуда действующей силы P и все три габаритных размера пакета. Максимальная энергия будет равна (см. также (17)) [1]

$$\Delta W_{\text{max}} = \frac{P^2 l^3}{EI} \cdot \frac{A_1}{A_8}, \quad (20)$$

где $A_8 = A_8^{j-2}$ при $j = n$ и $I = \frac{bh^3}{12}$ — момент инерции поперечного сечения прокладки. Относительная оптимальная координата в этом случае будет

$$\gamma_{\text{опт}} = \frac{P}{R_{\text{опт}}} = \frac{P}{\rho n p_{\text{опт}}}. \quad (21)$$

Подставив в выражение (21) значение оптимальной сдвигивающей нагрузки, из (18) [1] окончательно получим

$$\gamma_{\text{опт}} = \frac{4}{3} A_8. \quad (22)$$

Коэффициент поглощения у пакетов, настроенных на ΔW_{\max} с ростом n в данном случае стремится к $\psi = 4$.

Для шарнирно-опертой балки и стержня с заземленными концами и подвижной заделкой рассмотрим только случай 1.

Коэффициент поглощения шарнирно-опертой балки будет равен

$$\psi = \frac{48 \left[A_1 \left(\eta - \frac{4}{3} A_2 \right) - \frac{4}{3} A_3 \right]}{\eta (A_4 \eta - 2A_5)} \quad (23)$$

Значение относительных оптимальных координат $\eta_{\text{опт}}^{(\sigma, V)}$ и $\eta_{\text{опт } \Delta'}$ для шарнирно-опертой балки в два раза больше, чем у консоли. Поэтому величина максимального коэффициента поглощения, максимальная энергия рассеивания $\Delta W_{\max}^{(\sigma, V)}$ и параметр $[\Delta' (n, k, \eta)]_{\eta=\eta_{\text{опт } \Delta'}}$, определенный из (14), для данных n и k такие же, как у консоли. Толщина пакета будет равна

$$h_0^{(\sigma, V)} = \frac{1}{18} \frac{\sigma l^2}{EV} (n + k) \cdot \frac{A_4 \eta - 2A_5}{A_6 \eta - 2A_7} \quad (24)$$

Ширина пакета

$$b^{(\sigma, V)} = 1944 \frac{E^2 V^2 P}{\sigma^3 l^3} \frac{(A_6 \eta - 2A_7)^3}{\eta (A_4 \eta - 2A_5)^2} \quad (25)$$

Коэффициент поглощения, параметр $[\Delta' (n, k, \eta)]_{\eta=\eta_{\text{опт } \Delta'}}$, оптимальные координаты $\eta_{\text{опт}}^{(\sigma, V)}$, $\eta_{\text{опт } \Delta'}$ и максимальная энергия $\Delta W_{\max}^{(\sigma, V)}$ для стержня с заземленными концами и подвижной заделкой определяются по формулам (3), (8), (2), (13), (14).

Толщина пакета будет

$$h_0^{(\sigma, V)} = \frac{1}{9} \frac{\sigma l^2}{EV} (n + k) \frac{A_4 \eta - A_5}{A_6 \eta - A_7} \quad (26)$$

Ширина пакета

$$b^{(\sigma, V)} = 486 \frac{E^2 V^2 P}{\sigma^3 l^3} \frac{(A_6 \eta - A_7)^3}{\eta (A_4 \eta - A_5)^2} \quad (27)$$

В случае шарнирно-опертой балки и стержня с заделанными концами с подвижной заделкой одного из концов отношения

$$\frac{[h_0^{(\sigma, V)}]_n}{[h_0^{(\sigma, V)}]_{n=0}}, \frac{[b^{(\sigma, V)}]_n}{[b^{(\sigma, V)}]_{n=0}}, \frac{[Q]_n}{[Q]_{n=0}}, \frac{[\Delta']_n}{[\Delta']_{n=0}}, \frac{[\Delta W_{\max}^{(\sigma, V)}]_n}{[\Delta W_{\max}^{(\sigma, V)}]_{n=0}}$$

такие же, как у консольного пакета и, следовательно, результаты сравнения многослойных пакетов с двухслойными, приведенные на фиг. 3, 4, 5, остаются справедливыми и для данных случаев. Рассмотрим случай, когда пакеты имеют одинаковые n, k, ψ и, следовательно, одну и ту же среднюю относительную жесткость $e_{\text{ср}} = \frac{C}{C_{1n}}$. Кроме того, пусть задано, что $C_{1n} = C_{1n} = C_{1n}$ ($C_{\text{ок}} = C_{\text{ос}} = C_{\text{об}}$), т. е. пакеты имеют одинаковый наибольший прогиб.

Тогда, используя равенство (19), (37), (41) [1], легко показать, что наибольшие напряжения, возникающие в рассматриваемых пакетах под действием циклической силы αP , равны.

ВЫВОДЫ

Величина максимального значения коэффициента поглощения достигается при полном расслоении пакета и в конечном счете является функцией только n и k .

Максимальное значение коэффициента поглощения многослойного пакета при конструктивном числе прокладок в пакете ($n=25$) достигает величины $\psi=7$, близкой к идеальному значению $\psi_{ид}=8$. Следовательно, применение многослойных пакетов в качестве демпфера может обеспечить очень высокие демпфирующие свойства.

В многослойном пакете при той же прочности и наибольшей деформации, меньшем весе пакета можно получить в несколько раз большую величину рассеянной энергии, чем в двухслойном пакете.

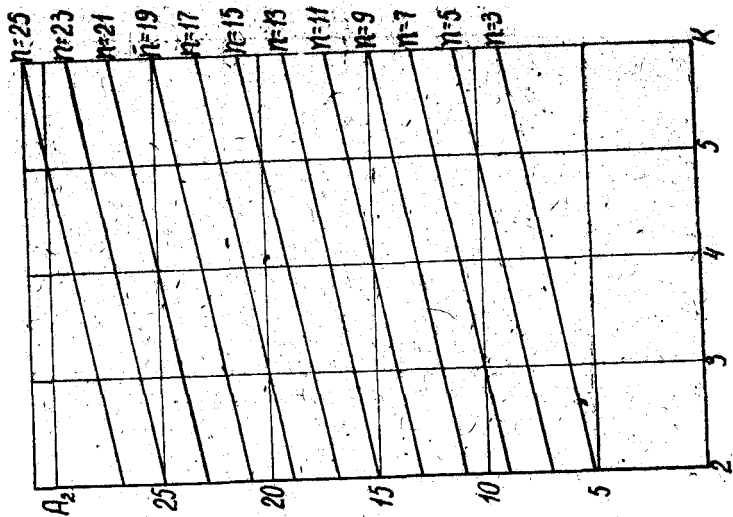
Оптимальным числом прокладок с точки зрения получения высших демпфирующих свойств, конструктивных размеров и минимального удельного веса демпфера $\bar{Q} = \frac{Q}{\Delta W}$ следует считать $n = 21 \div 25$, а иногда, и более прокладок в пакете.

Исследуемые демпфирующие пакеты с одинаковыми n и k имеют один и тот же интервал значений коэффициента поглощения. При этом, если у них одинаковы ψ и C_{ln} (C_0), то под действием одной и той же циклической силы αP они будут деформироваться на одну и ту же величину V , в них возникнет одно и то же наибольшее напряжение σ и за цикл они рассеют одно и то же количество энергии ΔW , но в конкретных демпфирующих устройствах они могут оказаться конструктивно неравноценными.

ПРИЛОЖЕНИЕ

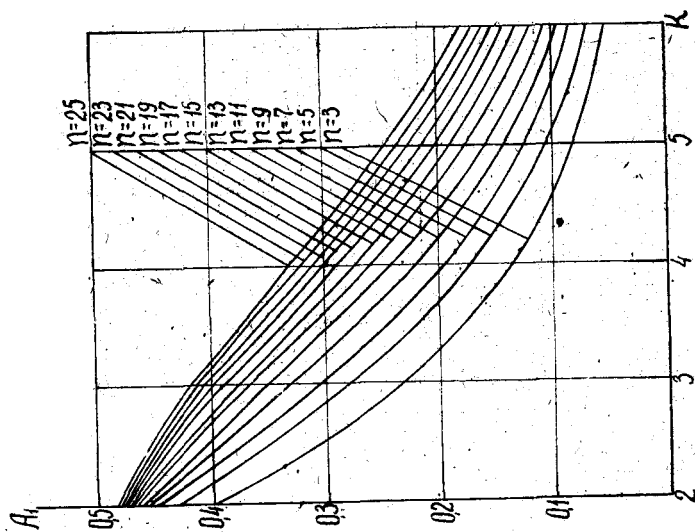
Номограмма

$$A_2 = \frac{(n+k)^2}{(n-k)^2 - 1}$$



Номограмма

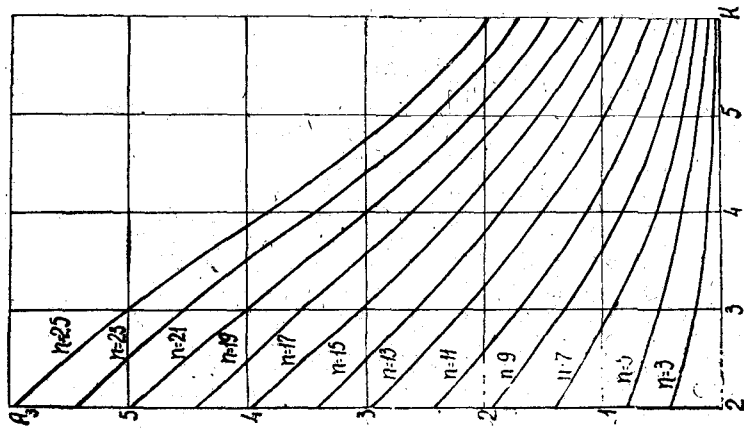
$$A_1 = \frac{2n+k}{k^3 + 4n}$$



Номограмма

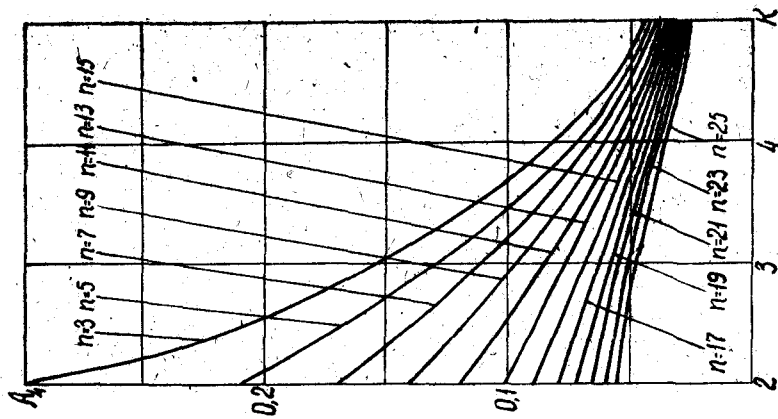
$$A_3 = \sum_{i=1}^{i=n-2} \frac{(2n+k) [(n+k-i)^2 + 4i] - (4n+k^2)(n+k+i)}{(n+k-i) [(n+k-i)^2 - 4] (4n+k^2)}$$

$i = 1, 3, 5, \dots, n-2.$



Номограмма

$$A_4 = \frac{6}{k^3 + 4k}$$

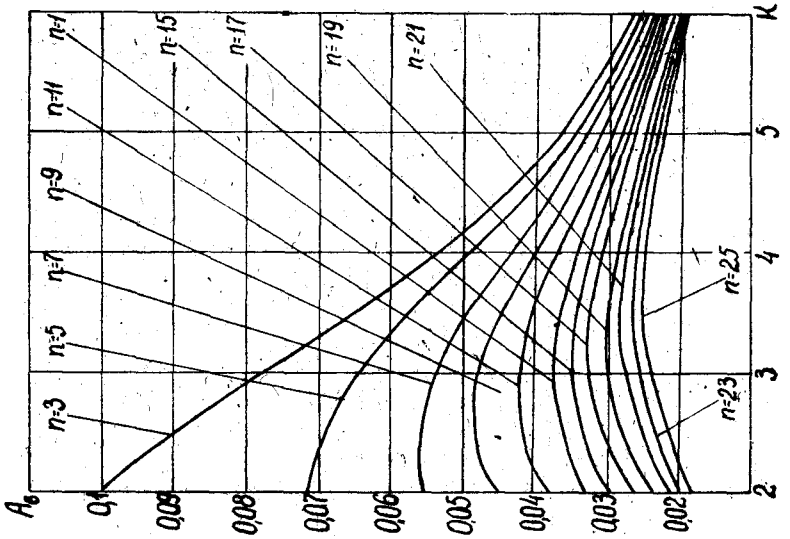
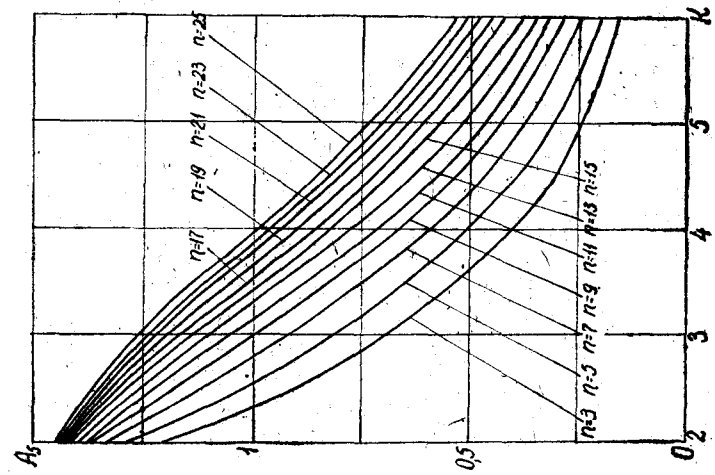


Номограмма

$$A_6 = \frac{k}{k^3 + 4n}$$

$$A_5 = \frac{1}{k^3 + 4n} \left[\frac{4(n+k)^3 - k^3 - 4n}{(n+k)^2 - 1} + 4 \sum_{i=1}^{n-2} \frac{(n+k-i)^3 + 4i - k^3 - 4n}{(n+k-i)(n+k-i)^2 - 4} \right]$$

$i = 1, 3, 5, \dots, n-2$

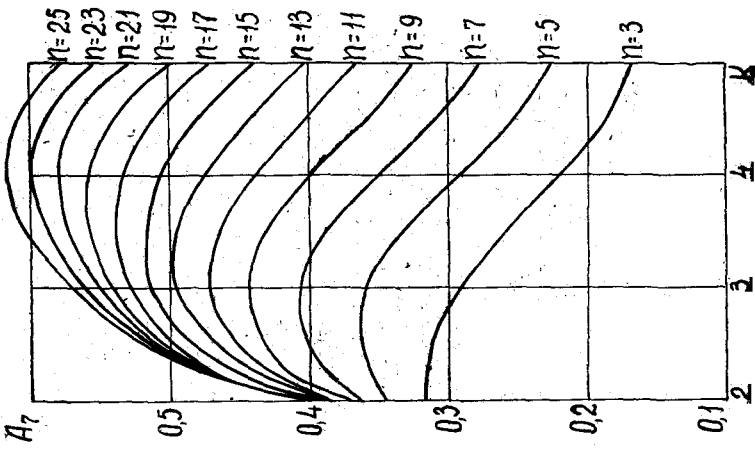


Номограмма

$$A_7 = \frac{n+k}{3} \left[\frac{2k(n+k)^2}{k^3+4n} - 1 \right] +$$

$$+ \frac{2}{3} \sum_{i=1}^{n-2} k \frac{(n+k-i)^3+4i}{(n+k-i)(n+k-i)^2-4} - (k^3+4n)(n+k-i)$$

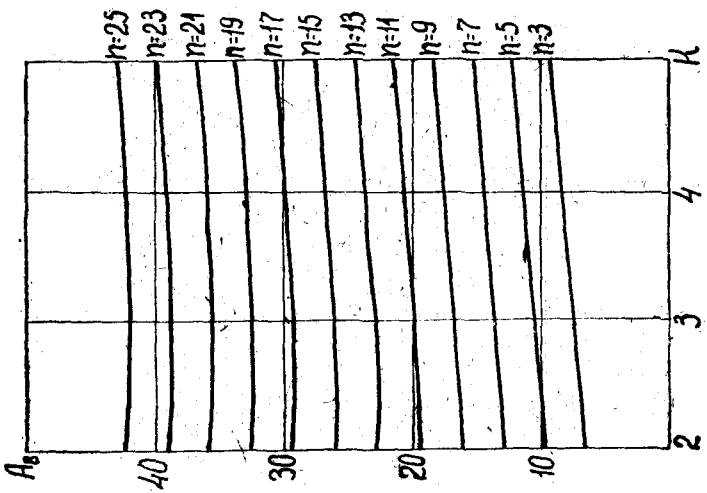
$i = 1, 3, 5, \dots, n-2$



Номограмма

$$A_9 = \frac{(n+k)^3}{(n+k)^2-1} + \sum_{i=1}^{n-2} \frac{(n+k-i)^3+4i}{(n+k-i)(n+k-i)^2-4}$$

$i = 1, 3, 5, \dots, n-2$



ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Соيفер, И. Д. Эскин. Изгиб многослойной консоли. «Вибрационная прочность и надежность авиационных двигателей». Труды КуАИ, выпуск XIX, 1965.
2. И. Д. Эскин. Поперечный изгиб многослойных пакетов циклической и постоянной силами. ИзВУЗ. «Авиационная техника» № 4, 1967.
3. И. Д. Эскин, А. М. Соифер. Демпфер. Авторское свидетельство № 204844 кл. 47а 16/10.
4. В. П. Филекин. Конструкционный гистерезис во фланцевых и шовных соединениях. ИзВУЗ. «Авиационная техника», № 4, 1960.