

Р и с. 4. Схема действующих на полку сил и моментов

Решая систему уравнений (17), находим силы N_1 , N_2 и N_a . Как показал расчет влияния погрешностей изготовления элементов рабочего колеса турбины среднего давления изделия на напряженность поверхностей контакта по бандажным полкам, значения нормальных напряжений изменяются от 4 до 108 МПа, а в лопатках турбины вентилятора (с большим удлинением) — от 18 до 36 МПа.

Основной причиной разброса напряжений является отклонения жесткости пера на кручение. В меньшей мере на разброс напряжений влияют отклонения размеров, определяющих положение полки относительно диска.

Л и т е р а т у р а

1. Кривошей В.Я. К расчету бандажных полки рабочих лопаток турбомалин. — Проблемы прочности, 1982, № 8, с. 58.

УДК 620.178.311

Г.В.Л а а у т к и н

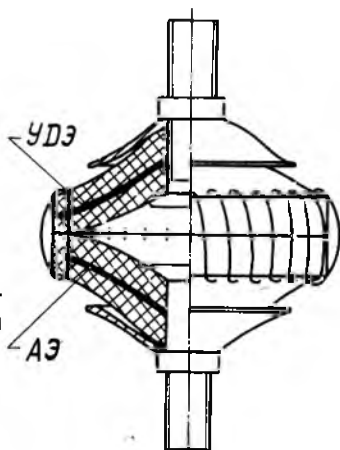
УПРУГОФРИКЦИОННЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ ТИПА ДКУ ИЗ МАТЕРИАЛА МР

Анизотропия прочностных и упругофрикционных характеристик (УФХ) материала МР затрудняет обеспечение высокой надежности систем виброзащиты двигателей летательных аппаратов, особенно при действии пространственных нагрузок. Этот недостаток в значительной мере можно устранить с помощью включения в массив материала МР высокопрочного армирующего элемента (АЭ), изготовливаемого из специального проволочного жгута. Жгут представляет собой прядь, обмотанную с натяжением спиралью виток к витку (тип 1) или нить проволоки (тип 2) [1]. Повышение

демпфирующая способность упругодемпфирующих элементов (УДЭ) обеспечивается наличием дополнительной диссипации энергии на границах АЭ с массивом материала МР и в самом АЭ. Высокая прочность виброизоляторов достигается охватом гнутым всех крепежных отверстий в УДЭ.

На основе описанного способа армирования УДЭ из материала МР разработана модификация виброизоляторов типа "двойной колокольчик усиленный" (ДКУ) (рис. 1) [1,2].

Технологический процесс изготовления армированного УДЭ колоколообразной формы включает в себя три основных этапа. На первом этапе из проволоочной спирали формируются две колоколообразные заготовки УДЭ. На втором этапе из гнутого изготавливается АЭ, который при необходимости опрессовывается по форме готового изделия. На третьем этапе АЭ заключается в массив проволоочных спиралей заготовок УДЭ и с помощью холодного прессования полученного пакета производится окончательное формирование УДЭ. При сборке виброизолятора два УДЭ укомплектовываются арматурой и сшиваются проволокой (см.рис.1).



Р и с. 1. Виброизолятор ДКУ

К наиболее важным параметрам, определяющим свойства виброизоляторов ДКУ, относятся: диаметр УДЭ D_k ; средняя плотность материала УДЭ ρ ; плотность материала проволоки ρ_w и ее диаметр d_w ; диаметр спирали d_u ; пределы текучести σ_{tu} , σ_{to} и модуль упругости E_u проволоки в заготовках УДЭ и в АЭ; приведенные к объему шара диаметром D_k плотности АЭ ρ_{ac} и всех заготовок ρ_3 ; диаметр d_c и предел текучести σ_{mc} сшивной проволоки; приведенный по длине стежка диаметр d_c и число витков сшивки n_R .

Исследование влияния этих параметров на упругофрикционные и прочностные характеристики виброизоляторов осуществлялось с помощью методов теории подобия и анализа размерностей [3,4]. Подобие по УФХ при растяжении и сжатии виброизоляторов определялось аффинным подобием семейств петель гистерезиса с различными амплитудами A и нагрузками q . Коэффициенты подобных преобразований выбирались как отрезки, отсекаемые сходственными процессами нагрузки и разгрузки от осей координат (T_n - по нагрузке R , a_n - по деформации x).

В этом случае определяемым критерием подобия оказывается безразмерная нагрузка $\eta = R/T_n$. Определяющими критериями являются безразмерные деформация $\xi = x/a_n$, амплитуда $\xi_A = A/a_n$ и натяг $\xi = q/a_n$, а также критерии, составленные из параметров виброизоляторов:

критерий граничных условий

$$\Pi_1 = \left(\frac{\sigma_{\text{ти}}}{E_u} \right)^{0,5} \left[\frac{\sigma_{\text{те}}}{E_u} \left(\frac{\delta_c}{D_K} \right)^2 \frac{\delta_c}{d_c} \right]^{0,12} \left(\frac{d_{\text{сн}}}{d_c} \right)^{1,5},$$

где $d_{\text{сн}} = 0,7 D_K \left(\frac{\rho_3}{\rho} + 0,16 \right)$;

критерий демпфирования

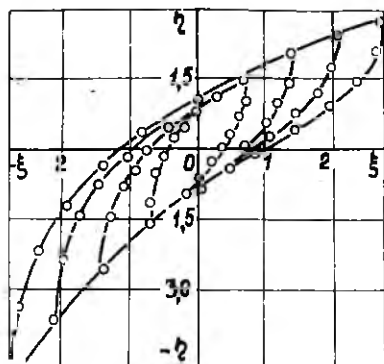
$$\Pi_2 = \frac{d_u}{\delta_u} \left(1 - \frac{\rho_{\text{ос}}}{\rho_3} \right) + 24,5 \left(\frac{\sigma_{\text{те}}}{\sigma_{\text{ти}}} \right)^{0,5} \left(\frac{\rho_{\text{ос}}}{\rho_3} \right);$$

критерий потери устойчивости УДБ

$$\Pi_3 = \frac{\rho_3}{\rho}.$$

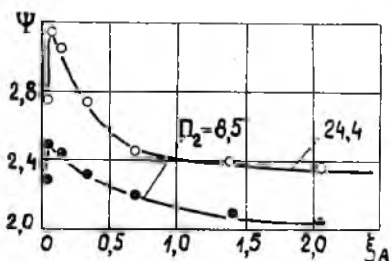
Диапазоны изменения значений определяющих критериев подобия составляли: $\xi \in [-3,45, 3,45]$; $\xi_A \in [0,14, 3,45]$;

$\xi_q \in [-2,07, 2,07]$; $\Pi_1 \in [0,75 \cdot 10^{-2}, 1,3 \cdot 10^{-2}]$; $\Pi_2 \in [8,5, 24,4]$; $\Pi_3 \in [0,05, 0,32]$.

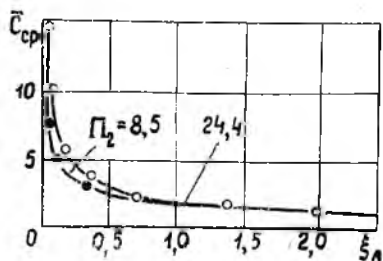


Р и с. 2. Обобщенное поле петель гистерезиса

Исследование влияния определяющих критериев на обобщенные УФХ (рис.2) показало, что процессы деформирования виброизоляторов ДКУ существенно нелинейны. Коэффициент поглощения ψ [5] в зависимости от амплитуды деформации ξ имеет максимум (рис. 3) При этом наиболее интенсивное увеличение безразмерной средней жесткости $\bar{C}_{\text{ср}}$ [5] наблюдается при $\xi_A < 0,25$ (рис. 4). При больших значениях ($\xi_A > 1,6$) $\bar{C}_{\text{ср}}$ практически не изменяется. Указанные обстоятельства вызваны те



Р и с. 3. Зависимости коэффициента поглощения от безразмерной амплитуды и критерия демпфирования



Р и с. 4. Зависимости средней жесткости от безразмерной амплитуды и критерия демпфирования

что при уменьшении амплитуд деформации виброизолятора все большая часть контактирующих проволок в материале МР как в системе конструкционного демпфирования взаимодействует между собой упруго без проскальзывания. Это приводит к резкому уменьшению работы сил трения и возрастанию жесткости $\bar{c}_{ср}$. С увеличением амплитуды деформации ($\xi_A \in [0,1, 0,2]$) основная часть контактирующих проволок взаимодействует с проскальзыванием, вызывая уменьшение жесткости $\bar{c}_{ср}$ и увеличение работы сил трения. Однако при дальнейшем увеличении $\xi_A > 0,25$ приращение работы сил трения оказывается меньше, чем сил упругости, вследствие чего ψ уменьшается.

Критерий ξ_q весьма слабо влияет на характер нелинейности УФХ. Наиболее сильное влияние ξ_q оказывает на ψ и $\bar{c}_{ср}$. При сжатии виброизолятора ψ для фиксированных ξ_A увеличивается, а $\bar{c}_{ср}$ падает, при растяжении $\bar{c}_{ср}$ возрастает, а ψ падает.

Влияние критерия Π_1 особенно сказывается при растяжении виброизолятора: с увеличением Π_1 $\bar{c}_{ср}$ увеличивается. Это связано с увеличением сдавливающих нагрузок на периферии УДЗ, препятствующих смещению ЭЗ относительно массивов проволочных спиралей. С уменьшением критерия Π_2 ψ уменьшается. Уменьшается и степень нелинейности УФХ, оцениваемая интенсивностью изменения $\bar{c}_{ср}$ по амплитуде ξ_A . Критерий Π_3 физически характеризует степень опрессовки материала МР и определяет толщину профиля УДЗ. При малой толщине профиля и больших деформациях виброизолятора на процессах нагрузки появляются полные участки и может наступить потеря устойчивости УДЗ.

Одновременно с определением степени влияния на УФХ критериев приближенного подбора Π_1, Π_2, Π_3 устанавливались функциональные связи коэффициентов подобных преобразований с безразмерными комплексами, составленными из параметров виброизоляторов по первой части П-теоремы:

$$\frac{T_n}{E_u D_K^2} = 0,066 \Pi_1^{2,2} \left(\frac{\rho_3}{\rho_u} \right)^{1,2} \left[\left(1 - \frac{\rho_{\text{жс}}}{\rho_3} \right) + 3,9 \frac{\sigma_{\text{то}}}{\sigma_{\text{жл}}} \frac{\rho_{\text{жс}}}{\rho_3} \left(0,8 - \frac{\rho_{\text{жс}}}{\rho_3} \right) \right];$$

$$\frac{a_n}{D_K} = 0,195 \Pi_1 \Pi_2.$$

Полученные соотношения в совокупности с данными, представленными на рис. 2, позволяют определить УФХ любого виброизолятора ДКУ, в том числе и вновь проектируемого, при условии сохранения геометрического подобия комплектующих его элементов и технологической оснастки (профили пуансонов и матриц, схема укладки жгута и т.п.).

Исследование прочностных характеристик виброизоляторов ДКУ осуществлялось при статическом, вибрационном и ударном нагружении.

Статическая прочность виброизоляторов определялась по величине нагрузки P_p , вызывавшей разрушение УДЭ. При этом прочность УДЭ на разрыв можно рассматривать в виде суммарной прочности заготовок УДЭ и АЭ. Несложно показать, что теоретическое усилие разрыва АЭ пропорционально комплексу $\frac{\rho_{\text{жс}}}{\rho_u} \frac{\sigma_{\text{до}}}{E_u}$, где $\sigma_{\text{до}}$ — предел прочности. Прочность массива материала МР из спиралей можно определить экспериментально на виброизоляторах типа ДК [2] без АЭ. Однако реальные условия работы виброизолятора требуют учета таких факторов, как неравномерность нагружения жгута в АЭ, его взаимодействие с массивом спиралей, наличие концентраторов напряжений в местах пересечения прядей. Это можно учесть с помощью экспериментального коэффициента K :

$$\frac{P_p}{E_u D_K^2} = K \frac{\rho_{\text{жс}}}{\rho_u} \frac{\sigma_{\text{до}}}{E_u} + 0,76 \cdot 10^{-5} \frac{\rho_3}{\rho_u} \left(1 - \frac{\rho_{\text{жс}}}{\rho_3} \right) \left(\frac{D_K}{a_u} \right)^{0,5},$$

где $K = 0,056$ для жгута типа 1 и $K = 0,098$ для жгута типа 2.

Анализ полученного выражения показывает, что статическую прочность виброизоляторов ДКУ можно изменять в 7–10 раз без заметного изменения других характеристик.

При вибрационном нагружении виброизоляторов имеют место три вида разрушения:

- 1) появление трещин на периферии УДЭ, развивающихся в радиальном направлении;
- 2) поломка витков шивки;
- 3) появление на УДЭ окружных трещин.

Последний вид разрушения характерен для больших относительных амплитуд деформирования ($\epsilon_A = \frac{A}{D_K}$; $\epsilon_A > 0,12$) и наиболее опасен, так как вызывает катастрофическое уменьшение статической прочности виброизолятора. Длительное циклическое нагружение виброизолятора сопровождается виброразогревом УДЗ и износом проводочных элементов в материале МР. Интенсивность протекания этих процессов во многом определяет вибропрочность виброизоляторов. Значительная температура виброрагрева (до 673 К) наблюдается в участках АЗ, расположенных на периферии УДЗ при $\epsilon_A > 0,05$, $T_n > 2 \cdot 10^{-7} \epsilon_{\text{ц}} D_K^2$ и частоте нагружения более 20 Гц. Меньшая температура (до 473 К) наблюдается на поверхности УДЗ.

Вибропрочность виброизоляторов ДКУ в значительной мере зависит от относительных амплитуд ϵ_A и критериев Π_1 и Π_2 . С увеличением критерия Π_2 от 8,5 до 15,0-18,0 при прочих равных условиях вибропрочность виброизоляторов увеличивается в 5-10 раз и составляет более чем $N_u = 10^6$ циклов наработки. С увеличением критерия Π_1 вибропрочность виброизоляторов может уменьшаться в несколько раз, причем наиболее характерным является первый вид разрушения, возникающий вследствие увеличения концентрации напряжений в окрестности свинных отверстий. При малых диаметрах свинной проволоки и низком пределе текучести $\sigma_{\text{тс}}$ прочность свинной проволоки окажется недостаточной, что приведет ко второму виду разрушения. Следует отметить, что по сравнению с существующей модификацией ДК виброизоляторы ДКУ обладают значительно большей вибропрочностью (рис. 5) [6]. Причем в процессе наработки происходит уменьшение демпфирующей способности ДКУ до 50% и увеличение жесткости до 60%.

Таким образом, виброизоляторы ДКУ обладают повышенными прочностными и демпфирующими свойствами. Проведенные исследования подтверждают возможность применения ДКУ в системах виброзащиты, эксплуатируемых в условиях интенсивных механических нагрузок.

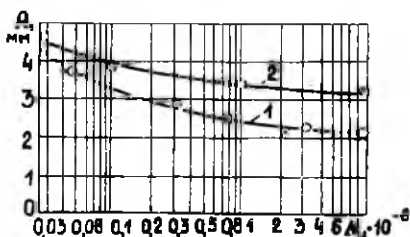


Рис. 5. Усталостные кривые виброизоляторов: 1-ДК-38-2/18; 2-ДКУ-38-0,6/40

Л и т е р а т у р а

И. А. с. № 326810 (СССР). Способ изготовления для получения металлогрезиновых деталей Лермин В.А. и др. - Оpubл. в Б.И., 1976, №23.

2. А.с. № 191280 (СССР). Амортизатор /Бузицкий В.Н. и др.-Опубли. в Б.И., 1967, № 3.

3. Лазуткин Г.В., Трубин В.Н., Тройников А.А. О подобия диссипативных систем по упругофрикционным характеристикам. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. - Куйбышев: КуАИ, 1975, вып. 4, с. 3-8.

4. Лазуткин Г.В., Трубин В.Н. Экспериментальные статические и динамические характеристики амортизаторов типа ДК. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. - Куйбышев: КуАИ, 1976, вып. 3, с. 32-37.

5. Тройников А.А., Трубин В.Н., Лазуткин Г.В. К вопросу об упругодемпфирующих свойствах материала МР. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. - Куйбышев: КуАИ, 1975, вып. 2, с. 60-65.

6. Бузицкий В.Н., Иванов В.П., Пичугин А.Д. Некоторые вопросы исследования амортизаторов. - Науч. тр. /Куйбыш. авиац. ин-т, 1967, вып.30. Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов, с.206-214.

УДК 629.7.048.7-62

О.П.М у л ь к и н

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПРИЕМОВ
ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАТОВ АВТОМАТИКИ
СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
НА ЭТАПАХ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ

Функциональная надежность и ресурс затворов автоматических клапанов определяются в первую очередь усилием герметизации в зоне уплотнения [1]. В автоматических клапанах, используемых в объектах с высокими параметрами рабочих сред, повышенные усилия герметизации достигаются при помощи силовых пружин, однако рост усилия герметизации в зоне уплотнения снижает ресурс затворов. Стремление разгрузить затворы автоматических клапанов от воздействия входного давления осуществляется разработчиками самыми разнообразными методами и устройствами [2, 3]. Однако следует отметить, что к настоящему времени в промышленности практически не ведется планомерной работы по разгрузке затворов автоматических клапанов от воздействия пружинных эле-