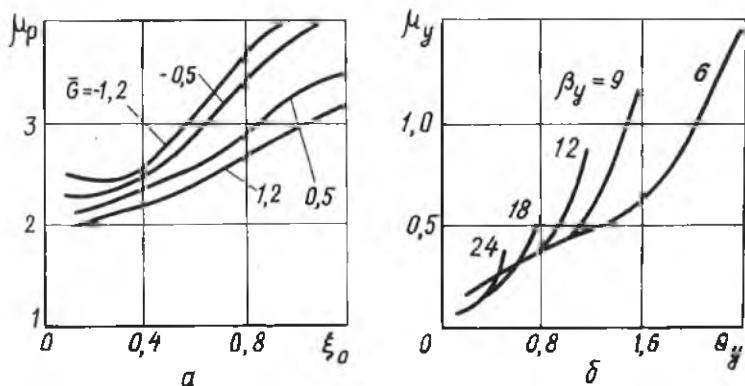


Г.В.Лазуткин, А.М.Уланов

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ  
ИЗ МАТЕРИАЛА МР

Виброизоляторы из материала МР успешно применяются в системах вибрационной защиты агрегатов ДЛА. Однако проектирование таких виброизоляторов требует большого опыта и существенных затрат времени. Вместе с тем зачастую необходимо оперативно решить задачу о работоспособности имеющегося типоразмера виброизолятора при нагружении, не регламентированном технической документацией, или подобрать оптимальный типоразмер из числа существующих. Поэтому создание САПР виброизоляторов из материала МР имеет большое практическое значение.

Существующие подходы к проектированию различных конструктивных классов виброизоляторов из материала МР основываются на обобщении экспериментальных данных, позволяющем создать математическую модель деформирования виброизоляторов и получить обобщенные динамические характеристики (ОДХ) виброзащитных систем (ВС) в критериальных координатах [1]. Примеры ОДХ приведены на рис. 1, а (зависимость коэффициента передачи при вибрации  $\mu_p$  от безразмерной амплитуды возбуждения  $\xi_0$  и безразмерной нагрузки  $\bar{\sigma}$ ) и 1, б (зависимость коэффициента



Р и с. 1. Примеры обобщенных динамических характеристик

передачи при ударе  $M_y$  от безразмерной интенсивности удара  $B_y$  и безразмерной длительности  $\theta_y$ ). При этом с помощью теории подобия и анализа размерностей решаются вопросы о критериях аффинного подобия деформационных характеристик виброизоляторов одного класса и устанавливаются функциональные связи коэффициентов подобных преобразований ( $T_n$  по нагрузке  $P$  и  $a_n$  по деформации  $X$ ) с конструктивно-технологическими параметрами виброизоляторов [2].

В процессе проектирования виброизоляторов с помощью ОДХ устанавливается диапазон изменения пар значений  $T_n$  и  $a_n$ , обеспечивающих выполнение требований по динамическому нагружению ВС. Затем, основываясь на принципах рационального конструирования этого класса виброизоляторов и имеющихся функциональных связях, определяют параметры виброизолятора.

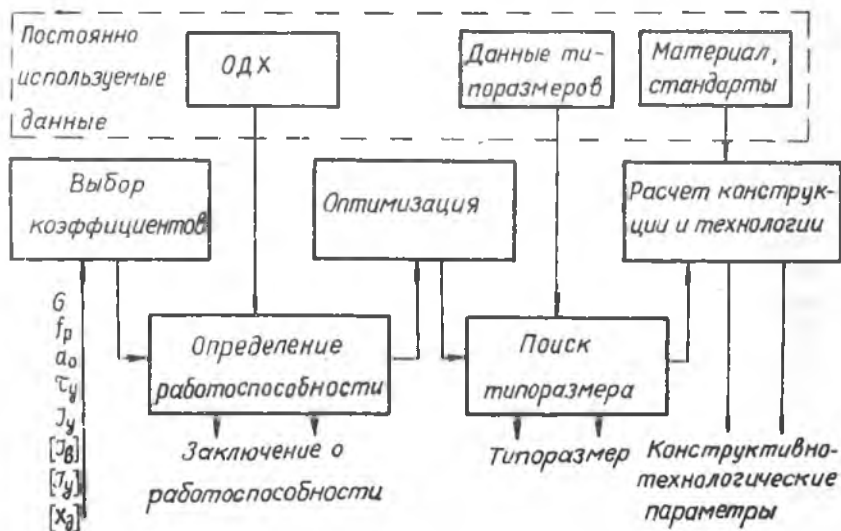
Настоящая статья посвящена разработке САПР виброизоляторов из материала МР. Из рассмотренного выше подхода к проектированию следует, что пакет прикладных программ САПР должен включать в себя программу для определения работоспособности виброизолятора при данных условиях нагружения, программу для поиска пары ( $T_n$ ,  $a_n$ ), оптимальной при данных условиях нагружения, программу для подбора оптимального типоразмера из числа существующих и программу для определения конструктивно-технологических параметров виброизолятора. Постоянно необходимые для работы пакета программ данные включают в себя ОДХ, представленные в виде полиномов Чебышева 3-й степени, сведения о стандартных диаметрах проволоки и механических свойствах материалов, используемых при изготовлении виброизоляторов, а также значения  $T_n$  и  $a_n$  существующих типоразмеров.

Исходными данными САПР являются требования к ВС по весу защищаемого объекта  $G$ , резонансной частоте  $f_p$  и допустимым входным параметрам (перегрузке при ударе  $[J_y]$  и вибрации  $[J_B]$ , максимальному перемещению  $[X_g]$ ) при заданном входном воздействии (амплитуде возбуждения  $a_0$ , длительности удара  $\tau_y$  и пиковой перегрузке  $J_y$ ).

САПР позволяет оптимизировать виброизолятор по выходной перегрузке при ударе или вибрации, максимальному перемещению, массе, технологичности и статической прочности, а также корректировать требования к виброизолятору в процессе работы.

По принятой классификации [3] рассматриваемая САПР относится к расчетно-оптимизационным системам, используемым на этапе эскизного проектирования.

Рассмотрим работу отдельных прикладных программ пакета, блок-схема которого приведена на рис. 2.



Р и с. 2. Блок-схема работы пакета программ

Программа для определения работоспособности виброизолятора осуществляет переход к безразмерным величинам ОДХ по формулам

$$\bar{G} = G / T_n, \quad (1)$$

$$\xi_0 = a_0 / a_n, \quad (2)$$

$$\beta_y = J_y G / T_n, \quad (3)$$

$$\theta_y = \tau_y \sqrt{g T_n / a_n G}. \quad (4)$$

Далее при помощи ОДХ найдем коэффициенты передачи при резонансе  $\mu_p = \mu_p(\xi_0, \bar{G})$  и ударе  $\mu_y = \mu_y(\beta_y, \theta_y)$ , а также максимальное смещение при ударе  $\xi_m = \xi_m(\beta_y, \theta_y)$  и статическое смещение центра колебаний  $\xi_0 = \xi_0(\bar{G}, \xi_0)$ . При выполнении ограничений

$$\left. \begin{aligned} \mu_y J_y &\leq [J_y], \\ \mu_p a_0 f_p^2 / 250 &\leq [J_B], \\ a_n (\xi_0 \mu_p + \xi_g) &\leq [x_g], \\ a_n (\xi_m + \xi_g) &\leq [x_g] \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

выводится сообщение о работоспособности виброизолятора.

При проектировании виброизолятора программа поиска оптимальной пары  $(T_n, a_n)$  не может сразу воспользоваться программой определения работоспособности, так как для перехода к безразмерным величинам ОДХ по зависимостям (1) - (4)  $T_n$  и  $a_n$  должны быть известны. Поэтому необходима программа предварительного выбора этих коэффициентов. Чтобы задаться такими парами значений  $(T_{ni}, a_{ni})$ , для которых уже приблизительно выполняется часть ограничений (5), а габариты и масса БС не слишком велики, будем исходить из условия, что коэффициент передачи при вибрации меньше допустимого, но не более чем на 50%. Для этого принимаем ряд значений  $0,5 [x_g]/a_0 \leq \mu_{pi} \leq [x_g]/a_0$ . Вычислим амплитуду входного виброускорения  $J_p = a_0 f_p^2 / 250$ . При помощи характеристики  $\bar{G} = \bar{G}(\mu_p, J_p)$  определяем ряд  $\bar{G}_i$ , при помощи  $\xi_0 = \xi_0(\bar{G}, \mu_p)$  - ряд  $\xi_{0i}$ . далее из выражений (1) и (2) по  $\bar{G}$ ,  $\bar{G}_i$ ,  $a_0$  и  $\xi_{0i}$  находим ряд пар  $(T_{ni}, a_{ni})$ . Для каждой из пар выполняется расчет по программе определения работоспособности. Таким образом, в координатах  $T_n - a_n$  определяется область  $Q$  выполнения ограничений (5). Затем внутри нее выполняется оптимизация по одному из трех динамических параметров (по выходной перегрузке при ударе или вибрации либо по максимальному перемещению).

Если область  $Q$  отсутствует, по указанию пользователя программа может перейти к поиску виброизолятора с другой  $f_p$ , для меньшего  $J_y$  или при пониженных требованиях к виброизоляции.

По найденной оптимальной паре  $(T_n, a_n)$  следующей программой (см. рис. 2) подбирается наиболее близкий типоразмер из существующих. Критерием сходства являются расслоенная жесткость  $T_n/a_n$ , характеризующая грузоподъемность, и коэффициент  $a_n$ , характеризующий демпфирующую способность. Если различие требуемых и имеющихся значений критериев более заданной величины (10...20%), пара  $(T_n, a_n)$  передается в программу для определения конструктивно-технологических параметров виброизолятора.

Эта программа основывается на установленных с помощью методов теории подобия и анализа размерностей, а также на полученных из обобщения опыта конструирования зависимостях, связывающих коэффициенты подобия  $T_n$  и  $a_n$  с конструктивно-технологическими параметрами. Она должна быть приспособлена к технологии производства конкретного класса виброизоляторов. Поэтому программа расчета конструктивно-технологических параметров различна для виброизоляторов разных классов, однако ее варианты имеют сходную структуру.

Программа должна определить, какие именно конструктивно-технологические параметры виброизолятора оптимальным образом обеспечивают ранее найденные требуемые значения  $T_n$  и  $a_n$ . Для этого из условий рационального конструирования и габаритно-массовых ограничений определяются те значения диаметра и высоты упругодемпфирующего элемента (УДЭ), при которых виброизолятор с требуемыми  $(T_n, a_n)$  технологически реализуем (область существования виброизолятора  $R$ ). Если для оптимальной пары  $(T_n, a_n)$  область  $R$  не существует, программа берет из области  $Q$  другую пару, близкую к оптимальной.

Далее производится предварительный расчет нескольких виброизоляторов из области  $R$ , и конструктор получает информацию о массе, диаметре, технологичности и статической прочности каждого варианта. Принятый пользователем вариант рассчитывается детально. Комплекс найденных при расчете параметров полностью определяет технологию изготовления виброизолятора.

Пакет программ позволяет легко включить в САПР новый конструктивный класс виброизоляторов. Для этого необходимо найти для нового виброизолятора шесть ОДХ, используемых в программах определения работоспособности и выбора коэффициентов, занести в данные САПР коэффициенты полиномов, аппроксимирующих ОДХ, и написать новый вариант программы для расчета конструктивно-технологических параметров.

В случае проверочного расчета уже существующего виброизолятора при значении внешней нагрузки, отличающемся от номинального, исходные данные, а также коэффициенты  $T_n$  и  $a_n$  поступают непосредственно в программу определения работоспособности, где и делается вывод о выполнении ограничений технического задания.

Примером использования САПР может служить разработка высокочастотного виброизолятора типа ДКУ с номинальной нагрузкой  $G = 75$  Н. Согласно поставленным требованиям  $f_p = 22$  Гц,  $a_0 = 1,5$  мм,  $T_y = 40$  г,  $\tau_y = 5 \cdot 10^{-3}$  с, максимально допустимая перегрузка  $20g$ , перемещение

11 мм. Используемые при расчете зависимости и ОДХ приведены в работе [1]. При проектировании проводилась оптимизация по массе.

Полученный виброизолятор имеет расслоенную жесткость 112 Н/мм и коэффициент  $a_n = 1,76$  мм, что близко к данным существующего виброизолятора ДКУ-68-20/15 ( $\gamma_n/a_n = 125$  Н/мм,  $a_n = 1,8$  мм), однако масса и диаметр УДЗ у него существенно ниже (соответственно 70 г и 54 мм против 133 г и 68 мм).

#### Библиографический список

1. Лазуткин Г.В. Виброизоляторы на основе материала МР/ Куйбышев. авиац. ин-т. - Куйбышев, 1985. - 150 с. - Деп. в ВИНТИ, №6112-85.
2. Лазуткин Г.В. Упругофрикционные и прочностные характеристики виброизоляторов типа ДКУ из материала МР //Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб.науч.тр. - Куйбышев: КуАИ, 1985. - С. 66-72.
3. Хронин Д.В. и др. Основы автоматизированного проектирования двигателей летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1984. - 183 с.

УДК 621.452.3.037:621.51

Ю.Н.Мальцев, В.А.Зрелов

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ НА ЛОПАТКАХ КОМПРЕССОРА ВЕРТОЛЕТНОГО ГТД

Эксплуатация вертолетов вблизи промышленных предприятий и с грунтовых площадок приводит к значительному ухудшению характеристик их силовых установок вследствие образования шероховатых отложений на лопатках компрессора. Механизм образования отложений представляет собой сложную картину взаимодействия частиц пыли и сажи с турбулентным пограничным слоем на поверхности лопаток. Осаждению способствуют вторичные течения в межлопаточных каналах и повышенная турбулентность потока. Отложения образуются на спинках лопаток и представляют собой слой сажи с мелкодисперсной пылью, который ухудшает качество их поверхности из-за роста шероховатости.