

конце рабочего хода T_k . Определялось время совершения рабочего хода t . При этом напряжение источника питания U непосредственного нагрева силового элемента составляло 1.3 В. Потребляемый ток A составил 12 А.

В результате испытаний определены следующие параметры процесса работы силового привода из сплава с ЭПФ при работе с внешней нагрузкой:

Перемещение ползуна $\Delta l = 2.20 \pm 0.05$ мм;

Температура силового элемента в начале рабочего хода $T_n = 90 \pm 2^\circ\text{C}$;

Температура силового элемента в начале рабочего хода $T_k = 180 \pm 10^\circ\text{C}$;

Время совершения рабочего хода $t = 60$ с.

Проводилось выдерживание силового привода из сплава с ЭПФ в термокамере при температуре $T = 70 \pm 1^\circ\text{C}$. При этом перемещений ползуна силового привода не фиксировалось.

УДК 621.822.5+621.822.6

УПРУГОДЕМПФЕРНЫЕ СОВМЕЩЕННЫЕ ОПОРЫ РОТОРОВ АГРЕГАТОВ ДЛЯ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ

Савин Л.А., Герасимов С.А., Стручков А.А., Спиридонов М.В.

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орёл

COMBINED ROTOR SUPPORT ELASTIC DAMPING ELEMENTS FOR UNITS OF NEW GENERATIONS

Savin L.A., Gerasimov S.A., Struchkov A.A., Spiridonov M.V. We considered rotor motion equation with axial combined stiffness-damping support, which allows to increase the reliability and durability per reducing the value of vibration and dynamic loads by stiffness-damping element.

В различных сферах транспортного и энергетического машиностроения широкое применение получили высокоскоростные турбомашины с частотами 1 кГц. В первую очередь это насосные агрегаты и компрессоры авиационной и ракетно-космической техники, криогенные турбодетандеры, турбокомпрессоры водородных и автомобильных двигателей с химическими топливными элементами. Критическим элементом этих агрегатов, во многом определяющим их работоспособность, являются роторно-опорные узлы, одним из возможных вариантов совершенствования которых, является использование совмещенных опор включающих подшипники качения и скольжения. Несмотря на хорошие динамические качества данного вида опор роторов, существует потребность в повышении демпфирующих свойств на переходных и резонансных режимах, а также в условиях возникновения дробно-частотных колебаний. С этой точки зрения

было предложено новое техническое решение упругодемпферной осевой совмещенной опоры (рис. 1,а).

На основе анализа основных режимов работы, создана динамическая модель (1) опоры, представляющая собой двухмассовый двухстепенной осциллятор (рисунок 3), система уравнений осевого движения которого представлены в виде:

$$\begin{cases} m_B \ddot{z}_B = -m_B g + R_{ПС} + R_{ПК} + F(t); \\ m_{\Pi} \ddot{z}_{\Pi} = -m_{\Pi} g + R_{ПС} + R_{Д}, \end{cases} \quad (1)$$

где $R_{ПК}$ и $R_{ПС}$ – реакции подшипника качения и скольжения соответственно; g – ускорение свободного падения; m_B , m_{Π} – масса вала и подпятника соответственно; $F(t)$ – возбуждающее воздействие.

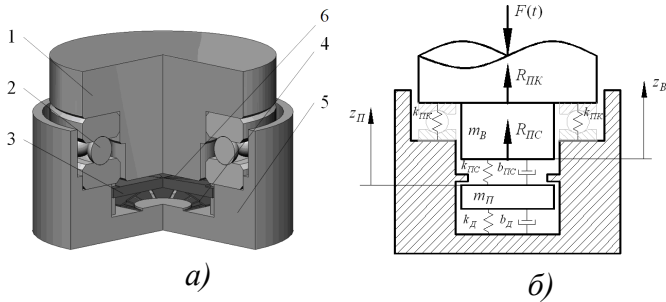


Рис. 1. Упругодемпферная осевая совмещенная опора
1- вал; 2-подшипник качения; 3-подшипник скольжения;
4-упругий элемент; 5-корпус; 6-гарантированный зазор

Реакция подшипника качения $R_{ПК}$ определяется на основе контактной задачи Герца, в зависимости от деформации тел качения:

$$R_{ПК} = Fn = \frac{2n}{3\beta_0} \sqrt{\frac{1}{\chi} \left(\frac{Z_B \pi m}{2F(k)} \right)^2}, \quad (2)$$

где n – количество тел качения, F – сила, действующая на тело качения, Z_B – осевое перемещение вала.

Расчет гидродинамических реакций упорного подшипника скольжения в режиме жидкостного трения проводится путём интегрирования поля давлений:

$$R_{ПС} = \int_0^{2\pi} \int_{R_{in}}^{R_{out}} r p dr d\varphi. \quad (3)$$

В свою очередь поле давлений может быть определено на основе уравнения классической гидродинамической теории смазки – уравнения Рейнольдса.

Реакцию упругодемпферного элемента можно представить в виде:

$$R_D = -k_D(z_{II} - \delta_D - \delta_D^{cm}) - b_D \dot{z}_{II}, \quad (4)$$

где δ_D – деформация упругого элемента;

δ_D^{cm} – деформация упругого элемента под действием силы веса подпятника; k_D , b_D – коэффициенты жесткости и демпфирования упруго-демпферного элемента определяемые, в зависимости от геометрических пара-

метров демпфера и свойств рабочей жидкости.

Ввиду невозможности аналитического интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений (1), использовался численный метод Адамса-Башворта-Моултона. При этом решение уравнения Рейнольдса, для определения реакции подшипника скольжения проводилось методом конечных элементов.

Для исследования поведения системы при гармоническом возбуждении проводился ряд вычислительных экспериментов, результатами которых являются амплитудно-частотные характеристики (рис.2). При расчете АЧХ использовались следующие безразмерные параметры:

$$\bar{A} = \frac{A_{\partial}}{A_{cm}}; \quad \bar{n} = \frac{\omega_F}{\omega_c}; \quad \bar{Q} = \frac{k_D}{b_D \omega_c}. \quad (5)$$

где A_{∂} – текущее значение амплитуды; A_{cm} – значение статического осевого смещения вала; ω_F – частота силового возмущения; ω_c – собственная частота системы «ротор – ПС – демпфер».

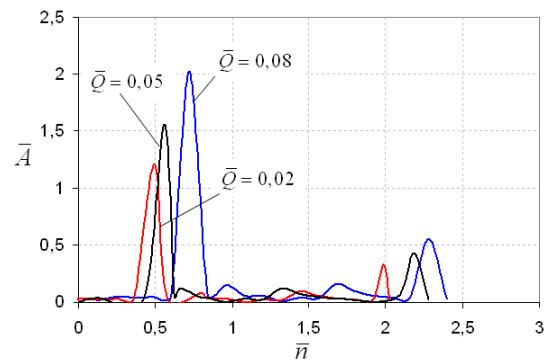


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики опоры

Сравнительный анализ колебательных процессов в опорах с упругодемпферными элементами и без них показал, что применение первых снижает амплитуду осевых колебаний ротора, особенно выраженная разница в амплитудах $\approx 50\%$ наблюдается в начальный момент развития колебательного процесса (рис.3).

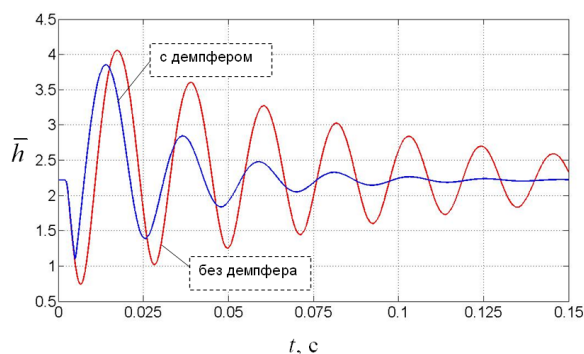


Рис. 3. Сравнительный анализ колебательных процессов

Комплекс проведенных экспериментальных исследований, на специально соз-

данном экспериментальном стенде, показал удовлетворительные результаты, что позволяет сделать вывод об адекватности математической модели и работоспособности разработанной конструкции.

Использование упругодемпферных осевых совмещенных опор позволяет существенно увеличить ресурс опоры, и как следствие агрегата в целом, по сравнению с одиночной постановкой подшипника качения, за счет оптимального сочетания рабочих и геометрических характеристик входящих в её состав элементов.

УДК 621.793

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКИХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ ПРОФИЛИРОВАННОГО СОПЛА ПЛАЗМОТРОНА

Фролов В.И., Савич Е.К., Докукина И.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет

IMPROVING THE PERFORMANCE OF CERAMIC THERMAL BARRIER COATINGS THROUGH THE CREATION OF PROFILED PLASMATRON NOZZLE

Frolov V.I., Savich E.K., Dokukina I.A. The way of increasing the core of the plasma stream in order to improve the characteristics of coatings is presented in this thesis.

Керамические материалы, используемые для создания теплозащитных покрытий, обладают уникальным комплексом физико-химических свойств и находят все более широкое применение в производстве различных изделий.

Теплозащитное покрытие из керамического материала уменьшает риск возникновения усталостных повреждений изделий и при длительной работе с высокими нагрузками продлевает их ресурс.

Создание керамического слоя на поверхности изделий является сложной задачей, включающей в себя как решение вопросов адгезии керамического слоя с поверхностью, так и вопросы создания керамического слоя из тугоплавких кристаллических материалов. Для создания покрытия из керамических материалов на поверхности наиболее применим метод газотермического напыления, заключающийся в нагреве напыляемого

материала до температуры близкой к температуре плавления с помощью плазменного потока и осаждении его на напыляемую поверхность в виде слоя толщиной до 0,5 мм. Для нанесения покрытий используются специальные установки, оснащенные плазматронами. Качество плазменных газотермических покрытий определяется скоростью, температурой и степенью проплавления порошкового материала в момент его взаимодействия с поверхностью изделия, а так же равномерностью подачи порошка в плазменную струю. Нагрев напыляемого материала в плазматроне осуществляется в ядре струи, на температуру и протяженность которого влияет мощность плазматрона.

При создании теплозащитных покрытий используются керамические материалы, имеющие высокую температуру плавления и низкую теплопроводность, для их нанесения необходимо проводить процесс на режимах,