

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ОПОР КАЧЕНИЯ ДЛА

П.А.Даниленко, Б.М.Силаев

ГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева (национальный исследовательский университет)»

В данной статье рассмотрены особенности условий функционирования высокоскоростных опор качения двигателей летательных аппаратов, уточнены критерии их работоспособности, рассмотрены результаты воздействий системы сил, задаваемых и возникающих при работе, показана необходимость учета этого при обеспечении работоспособности опор.

Ключевые слова: высокоскоростная опора качения, система сил, рабочие жидкости, работоспособность.

Современное и перспективное авиационное и космическое двигателестроение требует все более широкого применения опор качения двигателей летательных аппаратов (ДЛА), подшипники которых функционируют при скоростном параметре, достигающем значения $d_m n = 3,5 \cdot 10^6$ мм об/мин и более, причем зачастую в температурных экстремальных условиях – от повышенных плюсовых до глубоких низких, со смазыванием и охлаждением рабочими средами, при сложном комбинированном нагружении и воздействии широкого спектра виброускорений. Имея ввиду опору качения ДЛА как общепринятое понятие узла, включающего подшипник качения и ряд конструктивных элементов, как-то корпус подшипника, уплотнение, систему подвода смазки и др., в данной работе предпринята попытка провести анализ, выявить и систематизировать резервы повышения работоспособности существующих и перспективных конструкций опор качения на основе многостороннего изучения и выявления механизма взаимодействия указанных элементов конструкции, систематизировать имеющие место основные повреждения подшипников и уточнить критерии их работоспособности, установить и рассмотреть всю систему сил, как задаваемых, так и возникающих при эксплуатации. На базе этого наметить единый подход к учету всех уста-

новленных воздействующих факторов при обеспечении работоспособности опор. Как известно [1,2] для эксплуатации в указанных условиях хорошо зарекомендовали себя однорядные шариковые и роликовые подшипники с массивным сепаратором, выполняемым из таких материалов, как антифрикционные бронзы, латуни и пластмассы – текстолит, полиамид, фторопласт-4 и их композиции с наполнителями.

На основе анализа статистики повреждений и отказов узла при испытаниях ДЛА, последние можно разделить на внезапные и постепенно развивающиеся. К внезапным отказам относятся некоторые повреждения сепаратора главного элемента опоры – подшипника качения. Это разрыв продольных перемычек сепаратора и отрыв закладных головок заклепок сепараторов клепаной конструкции. К постепенно развивающимся можно отнести повышенный износ гнезд и центрирующих поясков сепаратора, а также износ беговых дорожек колец и тел качения подшипника.

Суммируя приведенные в научно-технической литературе [2,3] и наблюдаемые авторами повреждения и отказы узла при испытаниях ДЛА можно резюмировать, что основными критериями работоспособности высокоскоростных опор качения является износостойкость поверхностей качения подшипников, а также износостойкость и прочность сепаратора. При этом

характерной особенностью такой опоры качения является практически однозначная зависимость ее работоспособности от работоспособности и долговечности ее основного элемента – подшипника качения, осуществляющего силовое замыкание вращающегося ротора с неподвижным статором. Все остальные элементы конструкции опоры выполняют функцию создания необходимых условий, обеспечивающих заданную (требуемую) долговечность подшипника качения.

Сложность выбора оптимальных решений предопределила необходимость комплексного системного подхода к проблеме обеспечения работоспособности высокоскоростных опор качения ДЛА, функционирующих в среде рабочих жидкостей. Для конкретной реализации системного подхода к решению проблемы выделены и рассмотрены при анализе следующее группы воздействующих на опору факторов и результатов их влияния на её работоспособность.

Группа силовых факторов F_{Φ} характеризует силовое взаимодействие элементов конструкции подшипника и элементов опоры в целом. Данная группа включает в себя заданные внешние силы: F_r - радиальную и F_a - осевую и силы, возникающие при работе: F_{ω} - центробежные силы инерции, F_p - силы от перепада давления на сепараторе при прокачке среды через подшипник, F_h - силы гидродинамического сопротивления при вращении сепаратора с телами качения в жидкостной среде, F_f - сила трения, F_{Σ} - сила взаимодействия между телами качения и сепаратором, F_T - термическая сила от перепада температур. Комплекс сил обуславливает контактную прочность и износостойкость рабочих поверхностей подшипника, тепловые эффекты в зоне трения, дополнительное нагружение наружного кольца, нагружение и изнашивание поверхности сепаратора.

Группы кинематических V_{Φ} и геометрических факторов G_{Φ} , в которые входят n -

частота вращения кольца подшипника, n_c - частота вращения сепаратора, геометрические параметры подшипника и сепаратора; данная группа определяет величину прокачки смазочно-охлаждающей жидкости через подшипник; влияет на контактную прочность и износостойкость поверхностей качения, на прочность и износостойкость сепаратора.

Группа гидравлических факторов Q_{Φ} , включающая в себя величину прокачки Q_v смазочно-охлаждающей жидкости через подшипник, P_{ex} давление подачи жидкости на входе в зазоры подшипника, P_{exit} - давление жидкой среды на выходе из подшипника. Эта система факторов влияет на тепловое состояние в контактной зоне и износостойкость поверхностей качения, а так же определяет прочность и износостойкость сепаратора.

Группа температурных и теплофизических факторов T_{Φ} , в состав которых входят T_{ex} и T - температура жидкости на входе в подшипник и температура поверхностей качения; $\lambda_{1,2}$ - коэффициент теплопроводности материала колец и жидкости λ_3 ; c_p - удельная теплоемкость жидкости. Данная группа определяет величину прокачки смазочно-охлаждающей жидкости и износостойкость поверхностей качения подшипника.

Группа физико-механических факторов M_{Φ} , включающая следующие основные характеристики: НВ - твердость материала контактируемых тел; $E_{1,2}, \mu_{1,2}, \rho_{1,2}$ - соответственно модуль упругости, коэффициент Пуассона и плотность материала деталей подшипника; ρ_3, η плотность и вязкость жидкости соответственно; σ_p, σ_T предел прочности и текучести материала сепаратора, f_c - коэффициент трения. Вышеперечисленная система оказывает влияние на контактную прочность и износостойкость поверхностей качения и определяет прочность и износостойкость сепаратора.

Группа физико-химических факторов $X_{\text{ф}}$, содержащая следующие основные представители этой системы: D_n, μ_n, C_n – коэффициенты диффузии, химического потенциала и концентрации вещества компонента n материала детали и среды, соответственно, ε_i – некоторые другие характеристики материалов деталей и среды, влияющие на химические реакции в зоне трения. В целом эта группа определяет износостойкость поверхностей деталей подшипников.

Таким образом, установленные группы факторов и проведенный анализ их влияния показывают резервы повышения работоспособности высокоскоростных опор качения ДЛА. Учет этих групп воздействующих факторов позволит усилить положительные стороны их влияния и парировать их негативные свойства при совершенствовании существующих конструкций опор и при разработке новых конструктивных решений.

Применение системного подхода к проблеме повышения работоспособности опор качения ДЛА позволяет сформулировать следующий основной вывод: главным конструктивным элементом, лимитирующим работоспособность опоры качения, является подшипник. При этом задача обеспече-

ния его эффективного функционирования является комплексной, требующей учета большого количества воздействующих факторов таких, как параметры самого подшипника качения, так и конструктивно-эксплуатационные параметры опоры в целом.

Данная работа, устанавливающая всю совокупность воздействующих факторов и результаты их влияния, позволяет наметить направления исследований по разработке методики расчета и проектирования высокоскоростных опор качения ДЛА, функционирующих в рабочих средах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спицын, Н.А. Опоры осей и валов машин и приборов/ Н.А. Спицын, М.М. Машнев, Е.Я. Красковский и др., под ред. Н.А. Спицына и М.М. Машнева. Л.: Машиностроение, 1970. 520с.
2. Спришевский, А.И. Подшипники качения/ А.И. Спришевский. М.: Машиностроение, 1969. 632с.
3. Силаев Б.М. О структуре расчетной модели изнашивания при трении качения в активных средах// М.: Машиноведение. 1981. №1. С. 89-97с.

SYSTEM APPROACH TO THE PROBLEM OF INCREASE OF EFFICIENCY OF HIGH-SPEED SUPPORT OF SWING OF FTE

P.A.Danilenko, B.M.Silayev
Samara State Aerospace University

In this article features of operating conditions of high-speed support of swing of FTE are considered, criteria of their working capacity are specified, results of influences of system of forces set and arising during the work are considered, need of the accounting of it is shown when ensuring operability of support.

Keywords: high-speed support of swing, force system, working liquids, working capacity.