

сурсов осуществляется путём подпитки за счёт преобразования солнечной энергии, энергии, распространяемой в пространстве станцией наблюдения, или накопления электроэнергии за счёт трения при движении в воздушном пространстве.

К основным проблемам создания энергопреобразователей с использованием окружающего воздуха в качестве рабочего тела следует отнести физические, которые вызваны малыми размерами объектов. Вследствие этого весьма существенными являются переотдачи тепла по конструкции, тепловые поте-

ри, засорение рабочих трактов, тепловое расширение разнородных материалов, наличие вязких пристеночных зон у стенок, сложность использования жидких горючих без их предварительной газификации.

Среди других проблем можно выделить: концептуально-организационные, технические, психологические, и социально-экономические.

Наиболее удачным, с точки зрения эффективности и реализуемости являются микро-ТЭ, микро-ДВС и микро-ПуВРД.

УДК 621.822.6

## **О СПЕЦИФИКЕ РАСЧЁТА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

©2016 П.А. Даниленко, Б.М. Силаев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### **ON THE SPECIFICS OF THE CALCULATION AND ENSURE THE EFFICIENCY OF THE FTE HIGH-SPEED ROLLING BEARINGS**

Danilenko P.A., Silayev B.M. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*The complexity of aircraft's engines high-speed rolling bearings working conditions inside an environment of fuel low-viscosity liquids is displayed. Groups of factors, given and arising at work, which are serving bearings performance, are considered. The calculation method of the bearings durability is offered on two performance criteria - contact fatigue resistance and providing wear resistance of working surfaces. The algorithm for calculating the mentioned criteria is given.*

Эффективная эксплуатация двигателей летательных аппаратов (ДЛА) обуславливает потребность повышения технологического уровня, ресурса и высоких показателей их надёжности. Среди объектов технического совершенствования - опоры качения ДЛА, решение проблемы повышения работоспособности которых в большинстве случаев необходимо для обеспечения современных характеристик двигателей. Одним из путей повышения работоспособности высокоскоростных опор качения ДЛА является совершенствование метода расчёта и выбора главного элемента опоры - подшипника качения с учётом специфических условий его эксплуатации.

Существующие стандартные методы расчёта и выбора подшипников качения как в отечественных, так и в зарубежных фирмах

не отражают особенностей эксплуатации подшипников качения ДЛА в среде маловязких топливных жидкостей и влияние на их работоспособность элементов конструкции опоры.

Цель данной работы состоит в том, чтобы показать сложность условий работы высокоскоростных подшипников качения ДЛА в среде маловязких топливных жидкостей и возможности совершенствования методики расчёта и выбора их с учётом всех воздействующих групп факторов.

Для решения проблемы проведён анализ функционирования подшипника качения в составе опоры, в результате которого выделены и рассмотрены следующие группы воздействующих на подшипник и опору в целом факторов и результатов их влияния на работоспособность подшипника.

Группа силовых факторов  $F_\phi$  - 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, а также силы, возникающие при работе:  $F_{ц}$  - центробежные силы инерции,  $F_p$  - силы от перепада давления на сепараторе при прокачке среды через подшипник,  $F_n$  - силы гидромеханического сопротивления при вращении сепаратора с телами качения в жидкостной среде,  $F_f$  - сила трения,  $F_z$  - сила взаимодействия между телами качения и сепаратором;  $F_T$  - термическая сила от перепада температур. Данный комплекс сил обуславливает контактную прочность и износостойкость рабочих поверхностей подшипника, тепловые эффекты в зоне трения, дополнительное нагружение наружного кольца, нагружение и изнашивание поверхностей сепаратора.

Группы кинематических  $V_\phi$  и геометрических факторов  $G_\phi$ , в которые входят  $n$  - частота вращения кольца подшипника,  $n_c$  - частота вращения сепаратора и геометрические параметры подшипника с сепаратором; данная группа определяет величину прокачки смазочно-охлаждающей жидкости через подшипник, влияет на контактную прочность и износостойкость поверхностей качения, а также на прочность и износостойкость сепаратора.

Группа гидромеханических факторов  $Q_\phi$ , включающая в себя величину прокачки  $Q_v$  смазочно-охлаждающей жидкости через подшипник,  $p_{вх}$  - давление подачи жидкости на входе в зазоры подшипника,  $p_{вых}$  - давление жидкой среды на выходе из подшипника. Эта система факторов влияет на тепловое состояние в контактной зоне и износостойкость поверхностей качения, а также определяет износостойкость и прочность сепаратора.

Группа температурных и теплофизических факторов  $T_\phi$ , в состав которых входят  $T_{вх}$ ,  $T_{вых}$  и  $T$  - температура жидкости на входе в подшипник и на выходе из него, а также температура поверхности качения;  $\lambda_3$ ,  $C_p$ , - удельная теплоёмкость жидкости. Эта группа определяет величину прокачки смазочно-

охлаждающей жидкости и износостойкость поверхностей качения подшипника.

Группа физико-механических факторов  $M_\phi$ , включающая следующие основные характеристики:  $HV$  - твёрдость материала контактирующих тел;  $E_{1,2}$ ;  $\mu_{1,2}$ ,  $\rho_{1,2}$  - соответственно модуль упругости, коэффициент Пуассона и плотность материала деталей подшипника;  $\rho_3$ ,  $\eta$  - плотность и вязкость жидкости соответственно;  $\sigma_b$ ,  $\sigma_T$  - предел прочности и текучести материала сепаратора,  $f_c$  - коэффициент трения. Вышеперечисленная система оказывает влияние на контактную прочность и износостойкость поверхностей качения и определяет износостойкость и прочность сепаратора.

Группа физико-химических факторов  $\chi_\phi$ , содержащая следующие основные представители этой системы:  $D_n$ ,  $\mu_n$ ,  $C_n$  - коэффициенты диффузии, химического потенциала и концентрации вещества компонента  $\eta$  материала деталей и среды, соответственно;  $\varepsilon_i$  - некоторые другие характеристики материалов деталей и среды, влияющие на химические реакции в зоне трения. В целом эта группа определяет износостойкость рабочих поверхностей деталей подшипников.

С учётом вышеперечисленных групп факторов и их влияния на работоспособность высокоскоростных подшипников качения ДЛА разработан алгоритм их расчёта и выбора. В отличие от существующих методов расчёта алгоритм учитывает влияние практически всех групп факторов, что позволяет производить оценку долговечности подшипников качения как по критерию сопротивления контактной усталости, так и по износостойкости рабочих поверхностей.

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