

Применение имитационного моделирования ТВД позволяет:

- синтезировать оптимальные законы управления ТВД на различных режимах его работы, в том числе, на режиме реверса тяги;

- отработать управление ТВД в различных высотно-скоростных и климатических условиях;

- отработать алгоритмы функционирования САУ при отказах элементов конструкции ТВД и его систем, в том числе, сложно воспроизводимых в эксплуатации ввиду их опасности;

- своевременно выявлять системные ошибки при проектировании САУ;

- оценить запасы устойчивости САУ;

- повысить достоверность полунатурных испытаний САУ.

В настоящее время имитационное моделирование, как наиболее достоверный способ воспроизведения параметров ТВД, нашло применение также в тренажёрных комплексах, используемых для обучения лётного состава и проведения различных исследовательских испытаний. Взаимодействие имитационной модели ТВД с бортовой системой экранной индикации и сигнализации на тренажёре самолёта позволяет выявить и устранить ошибки указанной системы до поставки её на борт, а высокая точность воспроизведения имитационной моделью статических и динамических режимов ТВД позволяет повысить качество моделируемых на тренажёре самолёта динамических характеристик летательного аппарата.

Таким образом, стоит отметить, что имитационное моделирование играет значительную роль не только в процессе создания САУ ТВД, но и в процессе создания летательного аппарата, а также в процессе его эксплуатации.

#### Библиографический список

1. Блюмин К.В. Моделирование динамических процессов в системе управления авиационного двигателя / К.В. Блюмин // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2012. – № 3 (34). – С. 75-80.

2. Ахмедзянов Д.А. Совместная работа авиационных газотурбинных двигателей и топливной автоматики на режимах разгона и торможения / Д.А. Ахмедзянов, И.А. Кривошеев, Р.А. Сунарчин. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2006. – № 1. – С. 24-25.

3. Ахмедзянов Д.А. Неустановившиеся режимы работы авиационных ГТД / Д.А. Ахмедзянов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2006. – Т.7. – №1 (14). – С. 36-46.

4. Ахмедзянов Д.А. Методология имитационного моделирования неустановившихся режимов работы авиационных ГТД / Д.А. Ахмедзянов, Е.С. Власова, А.Е. Кишалов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2006. – № 2 (10). – С. 41-44.

УДК 621.822.7(088.8)

### **КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ И МЕТОДИКА КИНЕМАТИЧЕСКОГО И ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО РАСЧЁТА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ С СЕПАРИРУЮЩИМИ РОЛИКАМИ**

© 2018 Б.М. Силаев, А.В. Заваруев, С.А. Мецкер

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

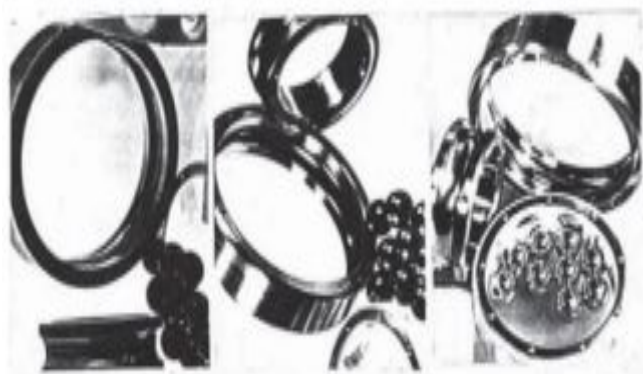
### **CONSTRUCTIONAL SCHEMES AND METHODOLOGY (METHODS) OF KINEMATIC AND GEOMETRIC CALCULATION OF ROTATING BEARINGS WITH SEPARATING ROLLERS**

Silaev B.M., Zavaruev A.V., Metsker S.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*The structural schemes of rotating bearings with separating rollers are considered, instead of the ordinary separators. It is shown, that this eliminates the sliding friction between the rolling elements and the separator in the rotating bearing, and also between the separator and the rim guide of the rims of the rings. The reduction of the friction moment*

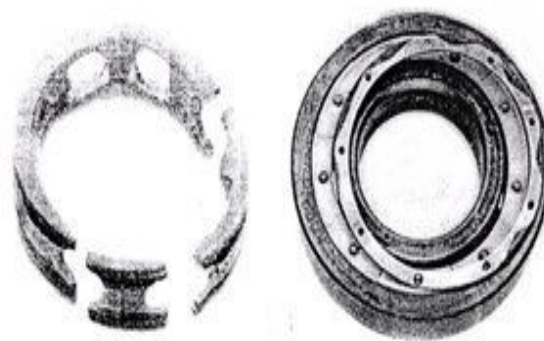
is obtained by 30 ... 50% in comparison with the bearing of the usual design. The methods of kinematic and geometric calculations of bearings with separating rollers are proposed.

Известно [1], что при работе подшипников качения короткоресурсных ДЛА (ЖРД и ГТД) в среде маловязких топливных жидкостей (керосин, жидкий кислород, водород и др.) критерием утраты их работоспособности являются повышенный износ рабочих поверхностей и поломка сепараторов в виде разрыва продольных перемычек и отрыва заклёпок (рис. 1).



а

При разработке кинематического расчёта бессепараторного подшипника качения его можно рассматривать как планетарный механизм, в котором внутреннее и наружное кольца, сепаратор и тела качения выполняет функции соответствующих центральных колес "а" и "в" водила "h" и сателлитов "g" (схема планетарной передачи 2К-h).



б

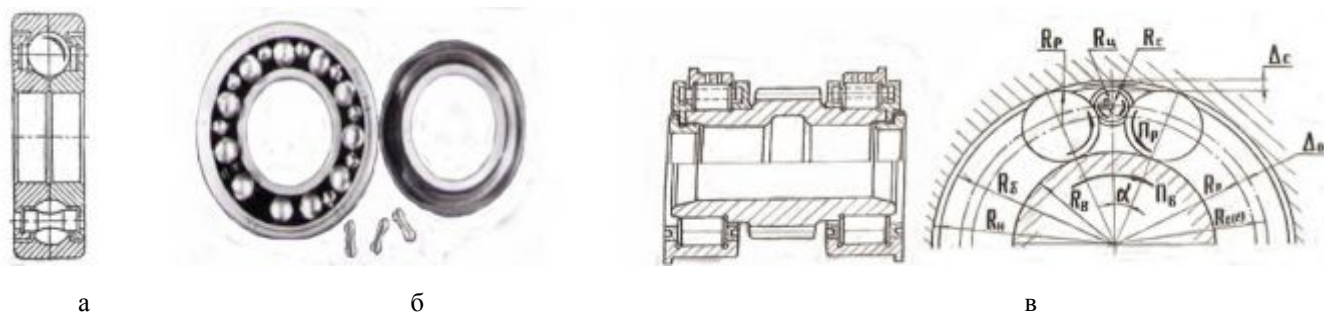
Рис. 1. Основные повреждения подшипников качения при работе в среде маловязких жидкостей  
а—износ рабочих поверхностей, б—поломка сепаратора

Одной из основных причин повышенного износа является повышенное тепловыделение, вызванное трением скольжения в местах контактирования сепаратора с телами качения в его гнездах и направляющими бортами колец.

Указанных явлений можно избежать, если применить подшипники качения, в которых сепаратор заменён на сепарирующие ролики, разделяющие тела качения [2,3].

Исходя из этих предпосылок была разработана методика расчёта бессепараторного подшипника качения.

На рис.2 представлена конструктивная схема шарикового подшипника с сепарирующими роликами и схема взаимодействия его деталей. Диаметральные размеры сепарирующих роликов и направляющих бортов определяют из условия равенства скоростей внутреннего вращающегося кольца ( $V_B$ ), сепарирующих роликов ( $V_C$ ) и направляющих бортов ( $V_6$ ) в местах их контакта. Это обеспечивает взаимодействие указанных деталей подшипника в условиях трения качения. Поскольку сепаратор в данной конструкции отсутствует, все детали работают в условиях обката, а трение скольжения исключено.



а

б

в

Рис. 2. Подшипники качения с сепарирующими роликами:  
а—шарикоподшипник, б—экспериментальный шарикоподшипник типа 207Ю, в – расчётная схема

Определены кинематические и геометрические параметры сепарирующих роликов и их орбиты вращения, математически обоснованы кривые контактирования сепарирующих роликов шарикоподшипников.

Расчётные соотношения имеют вид:

$$n_c = \frac{R_B n_B}{R_C} \left( 1 - \frac{1}{R_H R_B + 1} \right) + \frac{n_B}{R_H / R_B} + 1;$$

$$n_p = \frac{n_B}{\frac{R_H}{R_B} + 1} \left( 1 + \frac{R_B}{R_p} \right) - \frac{R_B n_B}{R_p};$$

$$R_C = [(R_0 + \Delta_0 - R_0 \cos \alpha)^2 + R_0^2 \sin^2 \alpha]^{\frac{1}{2}} - R_0;$$

$$R_{ц} = \frac{(R_0 + \Delta_0) R_C}{(R_B - R_C)}; R_0 = \frac{R_H R_B}{R_C}; \Delta_C > 0.$$

Существенное снижение потерь на трение подтверждено определением момента сопротивления вращению методом выбега для экспериментального шарикоподшипника типа 207Ю (рис. 2, б). Получено снижение момента сопротивления вращению на 30...50% в сравнении с подшипником обычной конструкции аналогичного типоразмера.

УДК 629.7.036

## УЧЁТ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА В МОДЕЛИ МАССЫ ГТД СО СВОБОДНОЙ ТУРБИНОЙ ДЛЯ ВЕРТОЛЁТОВ

© 2018 В.А. Григорьев, А.О. Загребельный, Д.С. Дилигенский

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### ACCOUNTING THE INFLUENCE OF GAS TEMPERATURE IN THE MODEL OF MASSES GTE WITH FREE TURBINE FOR HELICOPTERS

Grigoriev V.A., Zagrebelyni A.O., Diligensky D.S. (Samara National Research University,  
Samara, Russian Federation)

*The achievement of the best performance of aircraft engines in terms of economy is realized to a large extent due to the development of ever higher gas temperatures at the entrance to the turbine. There are two ways to solve this problem - the organization of systems for intensive cooling of turbine elements, and the use of new technologies and materials capable of ensuring reliable operation of all GTE elements. The article describes the nature of the effect of various elements to the cooling system of the engine masses.*

Достижение лучших показателей по экономичности вертолётных ГТД со свободной турбиной (ГТД СТ) реализуется в значительной мере благодаря освоению всё более высоких температур газов ( $T_r^*$ ) [1], и повышению степени давления ( $\pi_k$ ). Этот процесс затрудняет проблема КПД узлов из-за «уменьшения» элементов проточной части двигателей [2], которые в большинстве являются малоразмерными.

Таким образом, приведённые расчётно-экспериментальные исследования показали следующие преимущества подшипника качения с сепарирующими роликами: полное исключение трения скольжения, снижение мощности трения при вращении подшипника на 30...50%, повышение лёгкости вращения.

### Библиографический список

1. Силаев Б.М. Трибология детали машин в маловязких смазочных средах/ Б.М. Силаев – Самара: Издательство Самар. гос. аэрокосм. ун-та. 2008. –264 с.
2. А.С. 188801 СССР, МПК F06C, Кл.476,12 Подшипник качения/ 13.13. Талак-вадзе, Н.М. Пономарев (СССР) – №1018270/25-27: заявл. 05.VII.1965: опубл.01. XI. 1966. Бюл. №22.
3. А.С. 1129433 СССР, тки F16J 15/34. Подшипник качения/ Б.М. Силаев (СССР). – №3396167/25: заявл. 08.01.82: опубл. 15.12.84. Бюл. №46.

При постоянном росте температуры  $T_r^*$ , обеспечение надёжной работы всех элементов ГТД СТ, подверженных воздействию больших механических нагрузок и высоких температур газового потока, возможно в двух случаях: первый – организация систем интенсивного охлаждения элементов турбины; второй – применение новых технологий и материалов, способных обеспечивать надёжную работу этих агрегатов [3].