

**ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
СЕГМЕНТНОГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ
ДЛЯ РОТОРОВ АВИАЦИОННЫХ И КОНВЕРТИРОВАННЫХ ГТД**

©2018 Е.Ф. Паровай

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

**THERMOHYDRODYNAMIC MODEL OF PAD JOURNAL BEARING
FOR ROTORS OF AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES AND POWER PLANTS**

Parovay E.F. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The application of the rolling bearings as the GTE rotors supports is associated with high oil consumption and low life time. The design and operational features of the presented journal bearing allow it to be successfully used as a support for the aircraft engines and power plants rotors. The article presents the results of an analytical and CFD study of the pad journal bearing performance. Analysis of simulation results showed that heat dissipation in the low-flow journal bearing is acceptable.

Возможность применения опор скольжения в роторах авиационных ГТД всерьёз рассматривается в ОКБ имени А.М. Люльки, в качестве подшипников редукторов подшипники скольжения (ПС) предполагается применить в ГТД НК-93 (ПАО «КУЗНЕЦОВ»), ГТД PW1000G фирмы Pratt&Whitney и ГТД UltraFan фирмы Rolls-Royce. Опоры скольжения обладают высокой несущей способностью, теоретически неограниченным ресурсом на номинальном режиме работы и способностью воспринимать динамические нагрузки. Тем не менее, одними из серьёзных проблем перехода ПС в роторах авиационных ГТД являются высокое значение расхода масла, связанное со значительным тепловыделением, и наличие режима граничного трения при запуске-останове двигателя.

Сегментные ПС с самоустанавливающимися вкладышами являются наиболее перспективной конструкцией ПС для ГТД. Проблему высокого расхода таких подшипников можно решать в двух направлениях – сокращением времени «выхода на клин» и снижением коэффициента трения применяемых материалов. При этом предлагаемая конструктивная особенность – расточка вкладышей подшипника в радиус вала – способствует минимизации времени работы в режиме граничного трения, а силовое замыкание рабочего зазора за счёт наличия упру-

гого подвеса вкладышей – значительному сокращению расхода масла.

Испытания опытного компрессора на ФГУП ММП «Салют», в котором впервые был применён прототип малорасходного сегментного подшипника скольжения, показали возможность длительной работы при снижении расхода смазки с расчётных 12 л/мин (масляная ванна) до 0,2 л/мин (масляное голодание).

Для представленной конструкции были разработаны аналитическая и численная термогидродинамические модели, учитывающие двухфазность рабочего тела, равенство радиусов кривизны вкладышей и вала; зависимость характеристик рабочего тела от температуры и подогрев, вызванный вязким трением в смазочном слое.

В первую очередь, на основе расчётного аппарата В.А. Воскресенского для ПС с самоустанавливающимися вкладышами, модернизированного по уравнению теплового баланса для условий масляного голодания, были получены зависимости рабочих характеристик подшипника от эксплуатационных факторов. Для частот вращения роторов и величин нагрузок, действующих на опоры авиационных ГТД, было теоретически доказано, что тепловыделение в подшипнике находится в допустимых пределах для эксплуатации в опорах авиационных ГТД при расходе смазки 0,1 ... 0,4 л/мин (рис. 1).

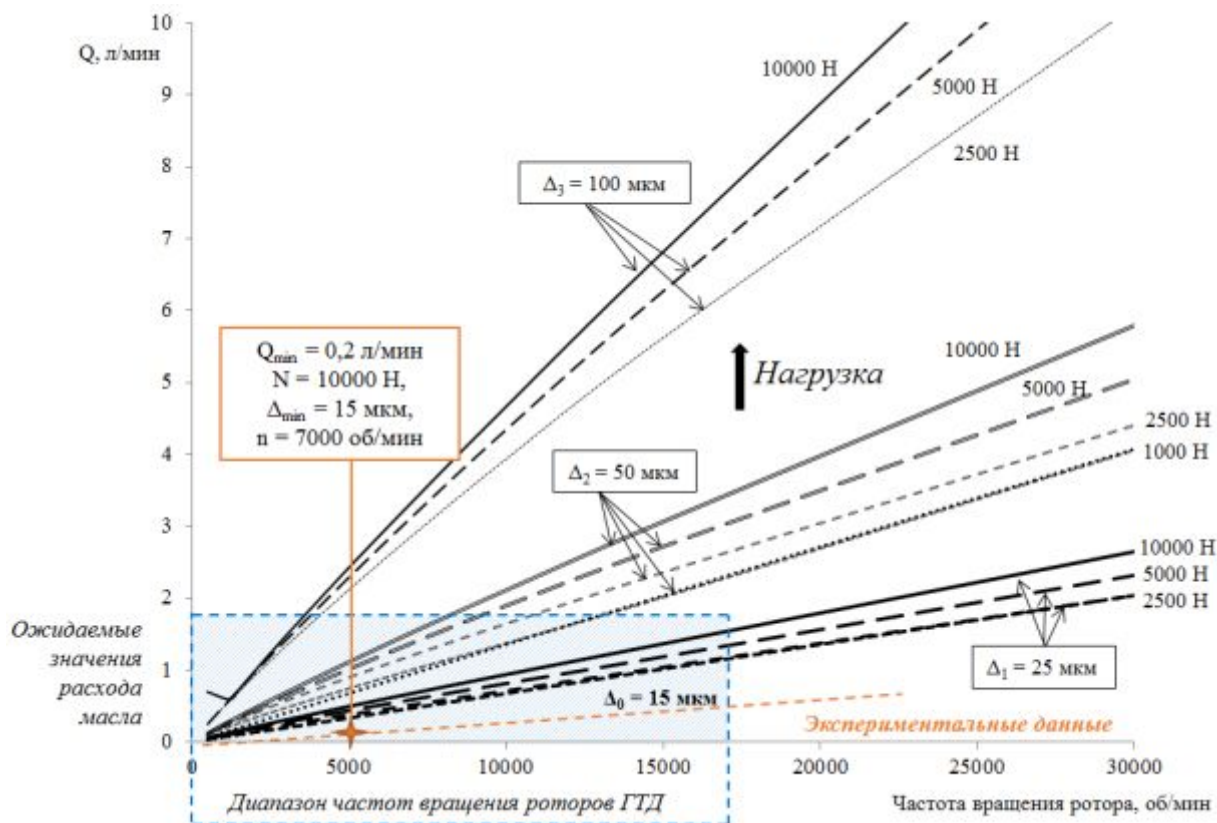


Рис. 1. Зависимость объёмного расхода масла от частоты вращения для различных значений радиального зазора подшипника и величины нагрузки

Для исследуемого ПС при нагрузке 5 000 Н средняя температура смазки на сливе составила $T_{вых} = 76,2$ °С; расход масла – $Q = 0,238$ л/мин; потери мощности на преодоление сил трения – $N_{тр} = 0,158$ кВт; динамические жёсткости смазочной плёнки: горизонтальная $C_T = 1,8 \cdot 10^8$ Н/м, вертикальная $C_B = 9,285$ Н/м. В результате расчёта также были получены зависимости рабочих характеристик малорасходного сегментного ПС от показателей режима ГТД.

CFD-исследование характеристик подшипника проводилось с помощью двухфазной термогидродинамической модели со свободной границей раздела фаз. Начальными условиями в модели приняты тепловые и расходные характеристики, полученные по аналитической модели для масла Тп22. Результаты моделирования показали, что с началом раскрутки вала в рабочем зазоре практически сразу осуществляется формирование несущего смазывающего масляного пятна, кроме того, при выходе на номинальный режим работы тепловыделение в подшипнике соответствует требованиям, предъявляемым

к подшипникам опор авиационных ГТД. Аналитические и программные расчёты показали, что исследуемый малорасходный ПС способен функционировать при низком значении прокачки масла. Расход по CFD-модели составил $Q = 0,2$ л/мин при подогреве смазки $\Delta T = 22$ °С. Таким образом, тепловой режим подшипника является приемлемым для применения в опорах ГТД. Сравнение результатов с экспериментальными данными говорит о том, что методика В.А. Воскресенского работает «в запас», выдавая завышенные значения температуры и расхода.

Низкое значение потребного расхода, низкое тепловыделение и минимизация работы в режиме граничного трения в сочетании с новыми материалами с малым коэффициентом трения, высокой теплопроводностью и низким коэффициентом линейного расширения делает малорасходный сегментный ПС с упругим подвесом и расточкой вкладышей в радиус вала отличным решением для авиационных ГТД новых поколений.