

КАРТИНА ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯСоколов Н.В.^{1,2}, Федотов П. Е.³¹КНИТУ (КХТИ), г. Казань, sokol-88@list.ru²НИИ Турбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа, г. Казань³Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

Ключевые слова: упорный подшипник, подушка, упорный диск, математическая модель, тепловой поток, диссипация, изотерма, максимальная температура.

Упорные подшипники скольжения с неподвижными подушками находят широкое применение в компрессорном оборудовании для уменьшения трения и износа между статорными и подвижными частями конструкции, восприятия осевых нагрузок и/или осевой фиксации роторов в процессе работы, в том числе при переходных режимах. При работе упорного подшипника высота зазора, разделяющего подушки и диск, составляет примерно 20...80 мкм в зависимости от приложенной нагрузки. При таких условиях в случае ламинарного режима течения возникает неравномерность скоростей поперек слоя, что приводит к активному трению между слоями смазки (вязкий сдвиг), выделению существенного количества теплоты за счет необратимой диссипации механической энергии в тепловую, вызывая, таким образом, значительный рост местной температуры. Интенсивность этого внутреннего трения подчиняется закону Ньютона-Петрова: напряжение сдвига равно $\tau = \mu(du/dy)$ [1], т.е. возрастает с увеличением вязкости смазки μ , повышением окружной скорости диска U и уменьшением толщины слоя h . Полученные в результате тепловые эффекты оказывают существенное влияние на интегральные характеристики упорного подшипника.

Разделом гидродинамической теории смазки, наиболее полно описывающим тепловое состояние подшипника скольжения, является периодическая термоупругогидродинамическая (ПТУГД) теория [2]. Она позволяет рассматривать совместно протекающие гидродинамические и тепловые процессы в смазке и твердых телах подшипника и получить в конечном итоге более полную тепловую картину работы подшипника скольжения и, соответственно, более точные выходные данные. Численная реализация разработанной ПТУГД математической модели положена в основу программы расчетов Sm2Px3Tхт [3]. Дополнительно введено условие теплового баланса по всему объему смазочного и пограничного слоев, повышающее точность и адекватность конечных численных расчетов.

Для адекватного описания картины распределения тепловых потоков в смазочном слое, в теле подушки и упорного диска для каждой области необходимо ввести собственное уравнение распределения теплоты. Уравнение энергии, описывающее нестационарное трехмерное распределение температуры в смазочном и пограничном слоях области $L_2(R_1 \leq r \leq R_2, 0 \leq \varphi \leq \theta_n, \theta_n \leq \varphi \leq \theta, 0 \leq y \leq h)$, имеет следующий дивергентный размерный вид [4]

$$c_p \frac{\partial(\rho t)}{\partial \tau} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (c_p \rho r V_r t) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{c_p \rho}{r} V_\varphi t - \frac{\lambda_m}{r^2} \frac{\partial t}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(c_p \rho V_y t - \lambda_m \frac{\partial t}{\partial y} \right) = \mu \left[\left(\frac{\partial V_\varphi}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial y} \right)^2 \right], \quad (1)$$

с граничным условием равенства температур и тепловых потоков при $\varphi = 0$, $R_1 \leq r \leq R_2$, $0 \leq y \leq h_1$

$$t|_{\varphi=0} = t|_{\varphi=0}, \left(\frac{c_p \rho}{r} V_\varphi t - \frac{\lambda_m}{r^2} \frac{\partial t}{\partial \varphi} \right) \Big|_{\varphi=0} = \left(\frac{c_p \rho}{r} V_\varphi t - \frac{\lambda_m}{r^2} \frac{\partial t}{\partial \varphi} \right) \Big|_{\varphi=0}, \quad (2)$$

где t – местная температура, c_p, λ_m – изобарная теплоемкость и теплопроводность смазки, h_1 – толщина слоя на входе в подушку. Численная реализация происходила в безразмерном виде после преобразования уравнения энергии с использованием безразмерной температуры

$\bar{t} = c_{po} \rho_0 h_{20}^2 (t - t_0) / (\mu_0 \omega_s R_{cp}^2 \theta)$ и координаты $\bar{y} = y / (h_2 \bar{h})$, позволяющей рассматривать область \bar{L}_2 в прямоугольном виде.

С использованием программы Sm2Px3Tхт представлено описание распределения температур и тепловых потоков на среднем сечении упорного подшипника по областям смазочного и пограничного слоев L_2 , подушки L_3 , и упорного диска L_4 , соотношение между конвективным и кондуктивным (за счет теплопроводности с твердыми телами подшипника) переносами теплоты в смазочном слое подушки области L_1 при разных величинах толщины смазочного слоя h и частоты вращения диска n . Использовались характеристики турбинного масла Тп-22С по ТУ 38.101821-83 или Тп-22Б по ТУ 38.401-58-48-92 класса вязкости ISO VG 32.

Список литературы

1. Петров Н.П. Трение в машинах и влияние на него смазывающей жидкости : из «Инженерного Журнала», 1883. 210 с.
2. Соколов Н.В., Хадиев М.Б., Федотов П.Е., Федотов Е.М. Трехмерное периодическое термоупругогидродинамическое моделирование гидродинамических процессов упорного подшипника скольжения // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение, 2021. Т. 20, № 3. С. 138-151.
3. Федотов П.Е., Федотов Е.М., Соколов Н.В., Хадиев М.Б. Sm2Px3Tхт – Динамически нагруженный упорный подшипник скольжения при постановке прямой задачи. Свид-во о госуд. регистрации программы для ЭВМ №2020615227. 2020.
4. Sokolov N.V., Fedotov P.E., Khadiev M.B., Fedotov E.M. Three-dimensional periodic thermoelastohydrodynamic (PTEHD) modeling of hydrodynamic processes of a thrust bearing // International Scientific and Technical Engine Conference (EC), Samara, Russian Federation, 2021, PP. 1-7.

Сведения об авторах

Соколов Николай Викторович, к.т.н., доцент. Область научных интересов: гидродинамическая теория смазки, проектирование и эксплуатация узлов трения компрессоров.

Федотов Павел Евгеньевич, аспирант. Область научных интересов: численные методы решений нелинейных уравнений математической физики в частных производных.

HEAT FLOW PATTERN OF A FLUID FILM THRUST BEARING

Sokolov N.V.^{1,2}, Fedotov P. E.³

¹KNRTU, Kazan, sokol-88@list.ru

²НИИтурбодвигатель имени В. В. Шнепп, Kazan

³Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan

Keywords: thrust bearing, pad, thrust collar, mathematical model, heat flow, dissipation, isotherm, maximum temperature.

Using the program Sm2Px3Tхт, a description of the distribution of temperatures and heat flows in the average section of the thrust bearing in the areas of the lubricating film and boundary layer L_2 , pad L_3 , and thrust collar L_4 is presented, the relationship between convective and conductive (due to thermal conductivity with solid bearing bodies) heat transfers in in the lubricating film of the pad in area L_1 . The studies were carried out at different values of the thickness of the lubricating film h and the speed of the collar n . The characteristics of turbine oil Тп-22 of viscosity grade ISO VG 32 were used.