

НАПРАВЛЕНИЕ
«КОНТАКТНАЯ ГИДРОДИНАМИКА И НАДЕЖНОСТЬ УЗЛОВ ТРЕНИЯ» /
«CONTACT HYDRODYNAMICS AND RELIABILITY OF FRICTION UNITS»

УДК 621.822.2

ТРЕХМЕРНОЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ТЕРМОУПРУГОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ
(ПТУГД) МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
УПОРНОГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

Соколов Н.В.^{1,2}, Хадиев М.Б.¹, Федотов П.Е.³, Федотов Е.М.⁴

¹КНИТУ (КХТИ), г. Казань, sokol-88@list.ru

²НИИ Турбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа, г. Казань

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

⁴АСТ Поволжье, г. Казань

Ключевые слова: упорный подшипник, математическая модель, граничные условия, численная реализация, интегральные характеристики.

Упорный подшипник скольжения является ответственным узлом турбомашин, в которых происходит компримирование газа. Между полостями всасывания и нагнетания компрессора газа создается перепад давления, который приводит к возникновению значительной осевой нагрузки на роторе. Воспринимаемые удельные нагрузки могут достигать значений 5 МПа, а максимальная окружная скорость на внешнем диаметре упорного диска может принимать значения до 170 м/с [1]. При таких условиях возрастают требования к точности расчета геометрических размеров и характеристик упорных подшипников.

Проведенные исследования показали, что наиболее адекватной является периодическая термоупругогидродинамическая (ПТУГД) теория смазки. Она наиболее полно охватывает гидродинамические, тепловые и деформационные характеристики работы подшипников скольжения с неподвижными подушками [2]. Сформированная трехмерная математическая модель на основе ПТУГД теории содержит взаимосвязанные определяющие уравнения, основными из которых являются уравнения Рейнольдса (формула (1) в безразмерном виде с учетом несжимаемости смазки), внутренней энергии и теплопроводности с соответствующими граничными условиями, параметрами смазки и профилем рабочей поверхности подушек [3].

$$-\lambda^2 \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left[(\sigma \bar{r} + 1) \bar{h}^3 \bar{f}_0 \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}} \right] - \frac{\partial}{\partial \bar{\varphi}} \left[\frac{\bar{h}^3}{(\sigma \bar{r} + 1)} \bar{f}_0 \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{\varphi}} \right] = -\text{Re} \psi \sigma \lambda^2 \frac{\partial (\bar{h}^3 \bar{f}_1)}{\partial \bar{r}} + \bar{\omega} (\sigma \bar{r} + 1) \frac{\partial (\bar{h} \bar{f}_2)}{\partial \bar{\varphi}} + \text{Sh} (\sigma \bar{r} + 1) \bar{A}, \quad (1)$$

где $\bar{A} = \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left(\bar{h} \int_0^1 \bar{\rho} d\bar{y} \right) - \bar{\rho}_{\bar{y}=1} \frac{\partial \bar{h}}{\partial \bar{r}}$ – нестационарный множитель.

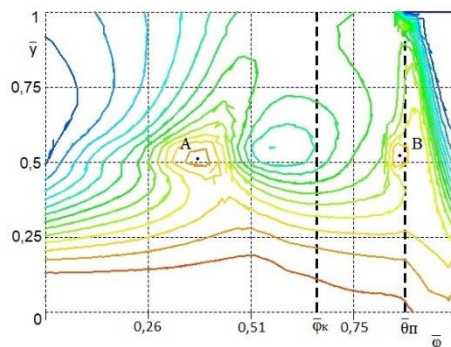


Рис. 1 – Распределение изотерм в сечении смазочного и пограничного слоев на среднем радиусе упорного подшипника

Численно реализованная программа расчетов Sm2Px3Tхт [4] позволяет исследовать разные граничные условия, физику гидродинамического процесса, определять локальные,

распределенные и интегральные характеристики упорного подшипника (в том числе такие важные эксплуатационные параметры, как минимальная толщина слоя и максимальная температура смазки), а также рассматривать динамические процессы нагружения. В качестве примера на рис. 1 представлено распределение температур посередине смазочного и пограничного слоев.

Список литературы

1. Minhui, He. Fundamentals of Fluid Film Thrust Bearing Operation and Modeling / He Minhui, James M. Byrne // Asia Turbomachinery and Pump Symposium. 2018. С. 1-26.
2. Хадиев, М. Б. Гидродинамические, тепловые и деформационные характеристики смазочных слоев упорных подшипников со скосом, параллельным радиальному межподушечному каналу / М. Б. Хадиев, Н. В. Соколов, Е. М. Федотов // Вестник машиностроения. 2014. №6. С. 54–59.
3. Sokolov, N. V. Mathematical modeling of dynamic processes of lubricating layers thrust bearing turbochargers / N. V. Sokolov, M. B. Khadiev, T. V. Maksimov, E. M. Fedotov, P. E. Fedotov // J. Phys.: Conf. Ser. 1158, 042019. 2019.
4. 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.

Сведения об авторах

Соколов Николай Викторович, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: гидродинамическая теория смазки, проектирование и эксплуатация узлов трения компрессоров.

Хадиев Муллагали Бариевич, д-р техн. наук, профессор. Область научных интересов: раздел гидродинамической теории смазки механики и жидкости газа, трение и износ в машинах, машиноведение и детали машин, вакуумная и компрессорная техника.

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

Федотов Евгений Михайлович, д-р физ.-мат. наук, профессор. Область научных интересов: численные методы решений нелинейных уравнений математической физики в частных производных.

THREE-DIMENSIONAL PERIODIC THERMOELASTOHYDRODYNAMIC (PTEHD) MODELING OF HYDRODYNAMIC PROCESSES OF A THRUST BEARING

Sokolov N.V.^{1,2}, Khadiev M.B.¹, Fedotov P.E.³, Fedotov E.M.⁴

¹KNRTU, Kazan, sokol-88@list.ru

²NIIturbokompressor named after V. B. Shnepp, Kazan

³Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan

⁴AST Volga region, Kazan

Keywords: thrust bearing, mathematical model, boundary conditions, numerical implementation, integral characteristics.

The thrust bearing of the turbomachine is considered. The bearing operation is described most accurately by the periodic thermoelastohydrodynamic (PTEGD) theory of lubrication. The three-dimensional mathematical model contains interrelated governing equations. The mathematical model is numerically analyzed in the form of a program for calculating Sm2Px3Tхт.