
НАДЕЖНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МАШИН И КОНСТРУКЦИЙ

УДК 621.892

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СМАЗОЧНОГО СЛОЯ ПРИ ТРЕНИИ

© 2024 г. А. Ю. Албагачиев¹, А. Тохметова^{1, *}¹Институт машиноведения имени А.А. Благодного РАН, Москва, Россия*e-mail: aygerim.tokhmetova@mail.ru

Поступила в редакцию 03.08.2023 г.

После доработки 01.10.2023 г.

Принята к публикации 20.10.2023 г.

Исследована задача о теплопереносе при колебаниях смазочного слоя. В результате сравнения теоретических данных с экспериментами можно сделать вывод, что разница составила не более 3%. Приведены результаты исследования декремента затухания колебаний.

Ключевые слова: расчет температуры смазочного слоя, колебания смазочного слоя, теплоперенос, декремент затуханий

DOI: 10.31857/S0235711924010031, **EDN:** SNFQZD

Исследование процесса теплопереноса в смазочном слое является актуальной задачей в связи с прогнозированием тепловых характеристик [1–9]. Температура, генерированная в процессе трения, оказывает влияние на механические свойства смазочного материала. В настоящей статье исследуется задача теплопереноса в смазочном слое при колебаниях и декремент затухания.

Цель статьи – сравнение результатов определения температуры при колебаниях смазочного слоя с экспериментальными исследованиями.

Исследование тепловой задачи. Рассмотрим тепловую задачу при колебательном движении смазочного слоя. Для исследования теплопереноса воспользуемся формулой суммы тепловых потоков, которую запишем в виде

$$Q_{\text{об}} = Q_1 + Q_2. \quad (1)$$

Здесь $Q_{\text{об}}$ – суммарное тепловыделение в смазочном слое; Q_1, Q_2 – тепловыделение подвижной поверхности и смазочного слоя. Количество теплоты связано с теплоемкостью тела c , плотностью ρ , объемом V и температурой θ соотношением

$$Q = \theta \rho V c. \quad (2)$$

Объем определяется произведением глубины распространения теплового импульса h на площадь поперечного сечения A . Глубину распространения импульса можно вычислить по формуле

$$h = 1.73 \sqrt{a t}, \quad (3)$$

где a – температуропроводность. Приведенные формулы позволяют рассчитать, какое количество теплоты выделилось в смазочной среде:

$$Q = 1.730A\sqrt{t} \sqrt{\lambda_1 \rho_1 c_1 + \lambda_2 \rho_2 c_2}. \quad (4)$$

Здесь ρ_1, ρ_2 — плотность подвижной поверхности и смазочной среды, c_1, c_2 — теплоемкость подвижной поверхности и смазочной среды.

Тепловыделение в смазочном слое можно описать как

$$Q = Nt, \quad (5)$$

где N — мощность трения; t — время. Мощность трения определяется скалярным произведением нагрузки P на скорость v , с которой движется поверхность

$$N = Pv. \quad (6)$$

Колебания нагрузки представлены в виде $P = P_0 \cos 2\pi vt$, а скорость колебательного движения поверхности как $v = v_0 \cos 2\pi vt$. Здесь P_0 — амплитуда нагрузки; v_0 — амплитуда скорости; v — частота колебаний. Анализируя уравнение (5), получим следующее выражение:

$$Q = P_0 v_0 t \cos^2 2\pi vt. \quad (7)$$

Применяя формулы (4) и (7), получим уравнение для определения температуры смазочного слоя

$$\theta = \frac{P_0 v_0 t \cos^2 2\pi vt}{1.73A\sqrt{t} \sqrt{\lambda_1 \rho_1 c_1 + \lambda_2 \rho_2 c_2}}. \quad (8)$$

Ниже представлены результаты расчета температуры смазочного слоя при $P_0 = 500$ Н, $v = 0.073$ м/с, $\nu = 50$ Гц, $t = 60$ с, $h_0 = 1.8 \cdot 10^{-6}$ м, $\lambda_1 = 79 \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot ^\circ\text{C}$, $\rho_1 = 8660 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $c_1 = 343 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, $\lambda_2 = 0.134 \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot ^\circ\text{C}$, $\rho_2 = 892 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $c_2 = 2000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. Температура смазочного слоя равна $\theta = 36.77^\circ\text{C}$. Разница между теоретическим и эмпирическим значением составляет 3%.

Скорость затухания определяется декрементом колебаний λ , который показывает, во сколько раз уменьшается амплитуда в следующем полупериоде по сравнению с предыдущим [10–12]:

$$\lambda = \ln e^{\frac{nT}{2}}. \quad (9)$$

Здесь n — коэффициент затухания; T — период свободных колебаний.

Степень $\frac{nT}{2}$ называется логарифмическим показателем колебаний δ . Логарифмический показатель в двигателях машин можно принять $\delta = 0.5$ [14, 15]. Частота свободных колебаний $\nu = 50$ Гц. Период свободных колебаний T определяется из выражения

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ с}. \quad (10)$$

Коэффициент затухания находим по формуле

$$n = \frac{2\delta}{T} = \frac{2 \cdot 0.5}{0.02} = 50 \text{ с}^{-1}. \quad (11)$$

Таким образом, декремент затухания определяется как

$$\lambda = \ln e^{\frac{nT}{2}} = 0.5. \quad (12)$$

Заключение. Представленная методика исследования позволяет определить теплоперенос в колебательном смазочном слое и декремент затухания. Разница между теоретическим и эмпирическим значением температуры при колебаниях смазочного слоя составляет 3%. Проведенные исследования показали, что декремент затухания снижает колебания в 2 раза. Смазочный материал между контактирующими телами действительно играет роль демпфера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tamminen N. M., Mutra R. R.* A review on recent advancements in an automotive turbocharger rotor system supported on the ball bearings, oil film and oil-free bearings // J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 2023. № 45. P. 1.
2. *Kamarapu S. K., Muniyappa A., Bheemappa S. et al.* Tribological and vibration characteristics of the palm-mineral blend as a sustainable lubricant in steel-steel contacts // Biomass Conv. Bioref. 2022. P. 1.
3. *Antonova N. M., Shorkin V. S., Romashin S. N. et al.* Adhesion of a Vibration Mechanochemical Solid-Lubricant MoS₂ Coating // J. Surf. Investig. 2019. № 13. P. 848.
4. *Bolshtyanskii A. P., Lysenko E. A., Vedruchenko V. R. et al.* Gaseous Lubricant in the Cylinders of Internal Combustion Engines // Russ. Engin. Res. 2021. № 41. P. 687.
5. *Zheng Z., Guo Z., Liu W. et al.* Low friction of superslippery and superlubricity // A review. Friction. 2023. № 11. P. 1121.
6. *Meng Y., Xu J., Ma L. et al.* A review of advances in tribology in 2020–2021. Friction. 2022. № 10. P. 1443.
7. *Tokhmetova A. B.* Study of the Influence of Lubricant Compositions Based on Serpentine on the Wear Intensity and Temperature of the Lubricant Layer // J. Mach. Manuf. Reliab. 2022. V. 51. P. 852.
8. *Yang X., Zhang L., Politis D. J. et al.* Experimental and modelling studies of the transient tribological behaviour of a two-phase lubricant under complex loading conditions // Friction. 2022. № 10. P. 911.
9. *Elagina O. Y., Buklakov A. G., Dumansky S. I.* Tribotechnical Characteristics of Lubricant under Conditions of High Temperatures // J. Frict. Wear. 2023. № 44. P. 42.
10. *Мачнев В. А.* Вибрации в зубчатых колесах коробки передач // Нива Поволжья. 2008. № 2. С. 55.
11. *Мачнев В. А.* Основные предпосылки вибрационного диагностирования // Нива Поволжья. 2007. № 1. С. 25.
12. *Мачнев В. А., Комаров В. А., Рыблов М. В., Кадеркаев Р. Р.* Влияние смазки на амплитуду вибрационных сигналов коробок передач тракторов // Нива Поволжья. 2016. № 2 (39). С. 82.