

**Дрогомирецький Я.М.,
Василик А.В.,
Довжинський І.М.,
Долгопола Г.Є.**

Івано - Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПЕРИФЕРІЙНОГО ПІДШИПНИКА КОВЗАННЯ ТРИШАРОШКОВОГО ДОЛОТА ПРИ ТЕРТІ

Вступ

Буріння свердловин на нафту і газ проводиться, в основному, шарошковими долотами, на долю яких випадає близько 80 % всього об'єму буріння.

Проведені дослідження шарошкових доліт і режимів їх експлуатації при бурінні глибоких свердловин засвідчили, що найефективнішими при проведенні свердловин є низько обертовий режим.

Разом з тим, вказані значні резерви підвищення техніко-економічних показників роботи шарошкових доліт при бурінні свердловин, що пов'язані з надійністю доліт, і в теперішній час залишається не реалізованим.

Це викликає потребу в більш глибокому дослідженні довговічності елементів герметизованих шарошкових доліт, їх підшипників ковзання і кочення та в розробці на цій основі комплексу рішень, які дозволяють б підвищити загальні показники буріння свердловин.

Математичне моделювання температурних полів робочих поверхонь периферійного підшипника ковзання при терті

В теперішній час для буріння глибоких свердловин на нафту і газ застосовують наступні герметизовані шарошкові долота, це долота типу ГНУ і ГАУ. Долота типу ГНУ мають упорну п'яту ковзання, кульковий підшипник кочення, і ущільнюючу манжету форми пружини Бельвіна, а долото типу ГАУ-периферійний підшипник ковзання, кульковий, замковий підшипник кочення і також упорну п'яту ковзання (рис. 1).

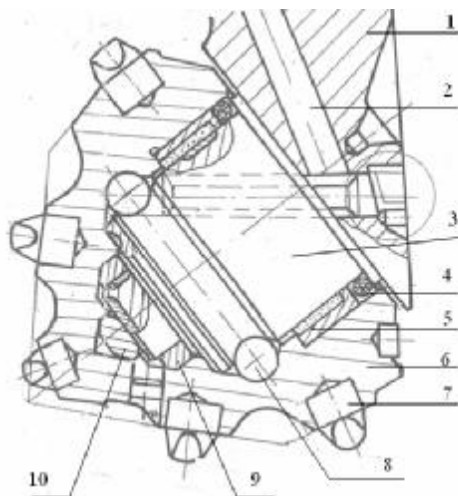


Рис. 1 – Опора шарошкового долота типу ГАУ (із двома підшипниками ковзаннями):

- 1 – лапа шарошкового долота; 2 – канал для поступлення мастильних матеріалів із лубрикатора в опору долота;
3 – цапфа долота; 4 – ущільнюючий елемент; 5 – периферійний підшипник ковзання;
6 – шарошка; 7 – зубок; 8 – замковий підшипник кочення;
9 – упорний підшипник ковзання; 10 – упорна п'ята

Слід пам'ятати, що серед чисельних підходів до опису поверхонь тертя підшипників особливе місце займають температурні моделі, які інтегрально враховують вплив механічних факторів, теплофізичних характеристик матеріалів пар тертя, зокрема захисних покриттів на різноманітних середовищах у зоні контакту. Ці та інші параметри закладають у модель за допомогою функцій джерел тепла, а також відносно коефіцієнта теплообміну. Відображення більш точного реального температурного поля складає значні складності при проведенні таких дослідів, а іноді навіть не є можливим їх проведення. Врахування часової залежності відносно коефіцієнта теплообміну дозволяє розширити коло досліджувальних задач, але це ускладнює, а іноді унеможлиблює їх розв'язок. Не менш важливим є завдання введення в модель

просторової залежності температури від координат. Для цього необхідно зробити припущення, що периферійний підшипник ковзання – необмежене тіло [1]. Це припущення нам дозволяє зробити те, що робочі температури в тілі підшипника не є значними і вони не передаються в навколишнє середовище, а теплопередача здійснюється в середині тіла підшипника. Диференціальне рівняння теплопровідності буде мати вигляд:

$$\frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < d; \quad t > 0$$

при граничних умовах:

$$T(x, 0) = T_0, \quad -\lambda \cdot \frac{\partial T(0,t)}{\partial x} = q_{\text{мертя}} \quad \text{та} \quad \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} = 0. \quad (1)$$

Розв'язуючи цю задачу операційним методом розв'язок для зображення $T_L(x, s)$ в випадку необмеженої пластини має вигляд:

$$T_L(x, s) - \frac{T_0}{s} = A \operatorname{ch} \sqrt{\frac{s}{a}} x + B \operatorname{sh} \sqrt{\frac{s}{a}} x. \quad (2)$$

Початкова температура пластин всюди однакова і рівна T_0 . Тоді граничні умови будуть мати в зображення такий вигляд:

$$-T'_L(d, s) + \frac{q_m}{\lambda, s} = 0, \quad (3)$$

$$T'_L(0, s) = 0. \quad (4)$$

З умови симетрії розподілу тепла випливає, що $B = 0$.

Постійну A знаходимо з умови (3).

$$-\sqrt{\frac{s}{a}} A \operatorname{sh} \sqrt{\frac{s}{a}} d + \frac{q_m}{\lambda \cdot s} = 0, \dots \rightarrow A = \frac{q_m}{\lambda \cdot s \sqrt{\frac{s}{a}} \cdot \operatorname{sh} \sqrt{\frac{s}{a}} d}. \quad (5)$$

Підставляючи постійну A в диференційне рівняння теплопровідності в зображення отримаємо:

$$T_L(x, s) - \frac{T_0}{s} = \frac{q_m \cdot \operatorname{ch} \sqrt{\frac{s}{a}} x}{\lambda \cdot s \cdot \sqrt{\frac{s}{a}} x \cdot \operatorname{sh} \sqrt{\frac{s}{a}} d} = \frac{\Phi(s)}{\Psi(s)}. \quad (6)$$

Як бачимо розв'язок рівняння (6) є відношення двох поліномів, оскільки:

$$\Phi(s) = q_m \cdot \left(1 + \frac{1}{2!} \cdot \frac{x^2}{a} \cdot s + \frac{1}{4!} \cdot \frac{x^4}{a^2} \cdot s^2 + \dots \right)$$

$$\Psi(s) = \lambda \cdot s^2 \cdot \left(\frac{R}{a} + \frac{1}{3!} \cdot \frac{d^3}{a} \cdot s + \frac{1}{5!} \cdot \frac{d^5}{a} \cdot s^2 + \dots \right) = \lambda \cdot s^2 \cdot \Phi(s), \quad (7)$$

де $\Phi(s)$ – вираз в дужках. Для розв'язування застосуємо теорему розкладу поліномів.

Степеневий ряд $\Psi(s)$ не містить постійних величин, тому всі умови теореми розкладу справджуються. Знайдемо розв'язки поліному $\Psi(s)$, для чого прирівняємо його до нуля:

$$\Psi(s) = \lambda \cdot s \cdot \sqrt{\frac{s}{a}} \operatorname{sh} \sqrt{\frac{s}{a}} d = \lambda \cdot s^2 \cdot \Phi(s) = 0. \quad (8)$$

Розв'язавши отримаємо корені:

1) $s_0 = 0$ подвійний корінь;

2) $S_n = -\frac{a \cdot \mu_n^2}{d^2}$ – безліч коренів так, як:

$$\operatorname{sh} \sqrt{\frac{s}{a}} d = \frac{1}{i} \sin i \sqrt{\frac{s}{a}} d = 0, \quad i \sqrt{\frac{s}{a}} d = \pi n = \mu_n.$$

Використаємо теорему розкладу:

$$\lim_{s \rightarrow 0} \left\{ \frac{d}{d \cdot s} \left[\frac{\Phi(s)}{\lambda \cdot \varphi(s)} e^{s\tau} \right] \right\} = \lim_{s \rightarrow 0} \left[\tau \cdot e^{s\tau} \frac{\Phi(s)}{\lambda \cdot \varphi(s)} + e^{s\tau} \frac{\Phi'(s)}{\lambda \cdot \varphi(s)} - e^{s\tau} \frac{\Phi(s) \cdot \varphi'(s)}{\lambda [\varphi(s)]^2} \right] =$$

$$= \frac{q_m \cdot a \cdot \tau}{\lambda \cdot d} + \frac{q_m \cdot x^2}{2 \cdot \lambda \cdot d} - \frac{q_m \cdot d}{6\lambda},$$

так як $\Phi(0) = q_m, \quad \varphi(0) = \frac{d}{a}, \quad \Phi'(0) = \frac{x^2}{2 \cdot a}, \quad \varphi'(0) = \frac{d^2}{6 \cdot a^2}.$

Далі отримаємо:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Phi(s_n)}{\Psi'(s_n)} e^{s_n \tau} = -\frac{q_m \cdot d}{\lambda} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n^2 \cdot \cos \mu_n} \cos \mu_n \frac{x}{d} \exp\left(-\mu_n^2 \frac{a \cdot \tau}{d^2}\right),$$

так як $\Psi'(s) = \lambda \left[\frac{3}{2} \cdot \sqrt{\frac{s}{a}} \operatorname{sh} \sqrt{\frac{s}{a}} d + \frac{s \cdot d}{2a} \operatorname{ch} \sqrt{\frac{s}{a}} d \right],$

$$\Psi'(s_n) = \lambda \frac{S_n \cdot d}{2a} \operatorname{ch} \sqrt{\frac{s}{a}} d.$$

Отже, загальний вигляд диференційного рівняння буде мати вигляд:

$$T(x, t) - T_0 = \frac{q_m}{\lambda} \left[\frac{a \cdot \tau}{d} - \frac{d^2 - 3x^2}{6d} + d \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{(n+1)} \frac{2}{\mu_n^2} \cos \mu_n \frac{x}{d} \exp(-\mu_n^2 F_0) \right], \quad (9)$$

де $\mu_n = n \cdot \pi, \quad F_0 = \frac{a \cdot \tau}{x^2}$ – число Фур'є.

Для обрахунку температурних полів периферійного підшипника ковзання скористаємось математичним моделюванням. При проведенні моделювання припущення та розглянули периферійний підшипник ковзання, як нескінчену пластину, що дозволило отримати формулу для оцінки температурного поля в підшипнику в будь-який момент часу. Скориставшись програмою GW-BASIC (див. додаток) можемо отримати значення температури в момент часу $t = 600$ с. Отримані значення показані на графічній залежності (рис. 2), але отримані значення через допущення нами припущення не є точними, а є орієнтованими.

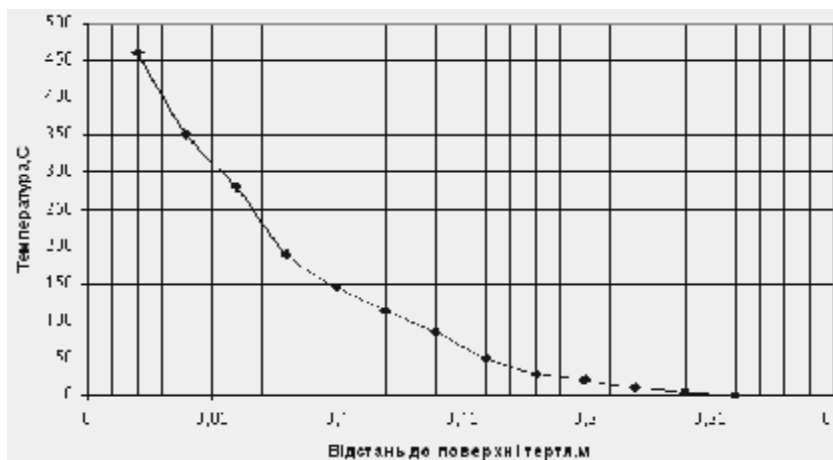


Рис. 2 – Залежність температури від відстані до поверхні тертя в момент часу $t = 600$ с

Висновки

Проведені дослідження дають можливість створити такий підшипниковий вузол, котрий буде мати значну зносостійкість завдяки правильному підборі матеріалів. Отримане в результаті моделювання оціночне температурне поле в підшипнику, що дозволяє приблизно оцінити робочі температури в підшипнику. Дану температурну модель можна застосовувати для визначення температур в циліндричному тілі при температурному імпульсу. Крім досліджень матеріалів та моделювання температурних полів проводились дослідження впливу змащування на інтенсивність зношування тому, як змащувач для герметизованих опор бурових доліт найкраще себе зарекомендували УНІОЛ-1, Літол-24 із різними порошкоподібними добавками [4], та комплексні графітні мастила.

Додаток

Програма для обрахунку температурних полів.

```

10 A = .000053 : Q = 150
20 INPUT T:D=.025:L=40.5
30 SCREEN 2
40 FOR X = .001 TO .012 STEP .0005
50 FOR N = 1 TO 12
60 L1 = (A * T) / D
70 L2 = (D^2 - 3 * (X^2)) / (6 * D)
80 S = (-1)^(N+1) * (2 / (N * 3.14)^2) * COS(N * 3.14) * (X/D) * EXP(-(N * 3.14)^2 * (A * T / (X^2)))
90 L3 = D * S
100 P = (Q/L) * (L1 - L2 + L3)
110 PSET(X*10000,P*100) : GOTO 120: PRINT " P = "; P : PRINT " x = "; X
120 NEXT N
130 NEXT X
140 END

```

Література

1. Дрогомирецький Я. М., Василик А. В., Попадюк І. І. Моделювання температурних полів у робочих елементах упорного підшипника ковзання тришарошкового долота при терті // Держ. Міжвідомчий наук.-техн. зб. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ. – ІФДТУНГ. – 1997, вип. 54. – С. 315-323.
2. Корслоу Г., Егер Д. Теплопровідність твердих тіл. – М.: Наука, 1964. – 371с.
3. Лыков А. В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600с.
4. Довжинський І. М., Дрогомирецький Я. М., Котюшко Н. Є. Вплив порошкоподібних добавок на трибологічні характеристики пластичного мастила Літол-24 «Перспективні інновації в науці, освіті, виробництві і транспорті '2011». Том 5. Технічні науки. – Одеса: Чорномор'я, 2011. – С. 5-1.

Надійшла 11.10.2012