

ВПЛИВ ГІДРОДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРУЖНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ОПОРНИХ ПОВЕРХОНЬ ТРИБОСПРЯЖЕННЯ

Національний авіаційний університет, iruk.persia@yandex.ru

Запропоновано метод урахування гідродинамічного навантаження на опорні поверхні трибоспряжень через його дискретний часовий вплив на розв'язання диференціальних рівнянь, що описують пружне деформування елементів опорних поверхонь.

Вступ. Велике число вузлів тертя машин і механізмів працюють в умовах змащення. Незважаючи на те, що пружні деформації на реальних трибоконтках широко поширені, вони усе ще не досить досліджені через труднощі фізичного й математичного характеру. Математичні труднощі виникають при вивченні процесу взаємодії тіл навіть простої форми. Положення про дискретний характер контакту є загально визнаним. У силу того, що в контактній механіці досить поширене моделювання вершин мікроступів елементами сфер однакового радіуса, дослідження на моделі одичного виступу надзвичайно важливі.

Аналіз останніх досліджень. Наприкінці XIX століття Н.П. Петровим, Б. Тауером і О. Рейнольдсом було встановлено, що ефективне змащення має місце в умовах, коли поверхні тертя надійно розділені тонким шаром мастильного матеріалу, товщина якого при робочих умовах перевищує сумарну висоту нерівностей робочих поверхонь сполучених тіл, а адгезійна взаємодія між ними практично виключається, тому що поверхні рознесені на відстань, що перевищує радіус дії адгезійних сил. Поділ поверхонь тертя мастильним шаром здійснюється під дією тиску, самозбудного в цьому шарі при відносному русі сполучених поверхонь. Такий режим змащення називається гідродинамічним. Він забезпечує мінімальні втрати на тертя й практично повну відсутність зношування. Для його реалізації необхідна певна комбінація навантаження на вузол тертя, швидкості відносного переміщення елементів пари тертя, геометрії контактуючих поверхонь, які повинні забезпечувати клиноподібну форму зазору між ними, і в'язкості мастильного матеріалу [1].

Постановка задачі. Метою даної роботи є попереднє оцінювання можливостей чисельного дослідження напружено-деформованого стану опорних поверхонь трибоспряження під впливом гідродинамічних сил. Пропонується метод числового моделювання силових, зокрема гідродинамічних, впливів у поверхневих шарах трибоспряжень нерівностей, що викликають деформування. Числове розв'язання звичайних диференціальних рівнянь високого порядку, що описують напружено-деформівний стан поверхневого шару як у одній площині, так і у просторі, здійснюється методом продовження за параметром сумісно з методом Ньютон-Канторовича. При цьому враховується дія довільного вектора статичних або квазі-статичних зосереджених, розподілених або моментових навантажень, що як завгодно розташовані у площині (або, при необхідності, у просторі) взаємного обертання трибоспряжень [2].

Для врахування дії гідродинамічних впливів і використання одержаних залежностей для задавання навантаження у системі диференціальних рівнянь [3] використовуються відомі залежності необхідної точності допущень, що описують обтікання рідиною твердих тіл довільної форми [4]. Розрахунок параметрів гідродинамічного впливу на часовий $(n-1)$ шар здійснюється за їх відомими значеннями на шарі (n) за допомогою дискретних рівнянь, що наближують систему до рівнянь Нав'є-Стокса:

$$\begin{aligned} \frac{\vec{U}^* - \vec{U}^n}{\Delta t} + A_h(\vec{U}^n, p^n)\vec{U}^* &= S^n; \quad L_h \delta p = \frac{\text{div}_h(\rho \vec{u}^*)}{\Delta t} + \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\rho^* - \rho^n}{\Delta t}; \quad (\rho^* = \rho(T^*, y^*)); \\ \rho u^{n+1} &= \rho \vec{u}^* - \Delta t \cdot \text{grad}_h \delta p; \quad p^{n+1} = p^n + \delta p; \\ \rho T^{n+1} &= \rho T^*; \quad \rho k^{n+1} = \rho k^*; \quad \rho \varepsilon^{n+1} = \rho \varepsilon^*; \quad \rho \vec{y}^{n+1} = \rho \vec{y}^*; \\ \rho^{n+1} &= \rho(T^{n+1}, \vec{y}^{n+1}). \end{aligned}$$

Тут індекс * присвоєно проміжним значенням параметрів; $\vec{U} = (\rho \vec{u}, \rho T, \rho k, \rho \varepsilon, \rho \vec{y})^T$ – повний набір базових змінних, за винятком тиску p ; $\vec{u} = (u_1, u_2, u_3)^T$ – вектор швидкості; $\vec{y} = (y_1, y_2, \dots, y_M)^T$ – вектор компонент концентрації суміші рідини; $\delta p = (p^{n+1} - p^n)$ – додаткова змінна, що є відхилом тиску. Всі вказані параметри є дискретними функціями, які визначаються за допомогою приведених рівнянь. Дискретні оператори $A_h; \text{div}_h; \text{grad}_h; L_h = \text{div}_h \text{grad}_h$ наближують за другим порядком точності відповідні диференціальні оператори вихідних рівнянь.

Як результат одержуються характеристики напружено-деформівного стану мікронерівностей в залежності від характеру гідродинамічного навантаження. Геометрична форма контактуючих поверхонь може бути задана або аналітично, або за допомогою чисельної функції.

Висновки. Методика відрізняється алгоритмічністю і простотою перебудови підходів до розв'язань конкретних задач. Процеси, що виникають у контактних поверхнях трибоспряження можуть бути відображені на екрані дисплея у реальному часі та одержані у графічному вигляді графіками, таблицями та рисунками. З метою оцінки достовірності й точності результатів розв'язку задач були розглянуті випадки стаціонарного поперечного обтікання кругового циліндра нескінченної довжини. Такі задачі мають відомі розв'язки [4]. Порівняння результатів показало достатню достовірність і ефективність розробленої методики.

Список літератури

1. Буяновский И. А. Нариси по історії трибології / И. А. Буяновский, И. Г. Фукс, Л. Н. Багдасаров. – М.: Видавництво «Нафта й газ». 1998. – 108 с.
2. Кравцов В. І. Геометрія кривих у дослідженні механіки контактуючих поверхонь трибоспряжень / В. І.Кравцов, М. Д.-А. Садегі // Проблеми тертя та зношування. – 2012. – № 57. – С. 58–65.
3. Кравцов В. І. Вплив навантажень від течій на гнучкі підводні конструкції / В. І.Кравцов// Вестник ХГТУ. – 1998. – № 2(4). – С. 26–29.
4. Мартынов А.К. Прикладная аэродинамика/ А. К. Мартынов. – М.:, Машиностроение, 1972.

Садеги М. Д.-А. Влияние гидродинамических нагрузок на упругое деформирование опорных поверхностей трибоспряжений // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 58. – С.38–40.

Предложен метод учета гидродинамической нагрузки на опорные поверхности трения при ее дискретном временном влиянии на решение дифференциальных уравнений, которые описывают упругое деформирование элементов опорных поверхностей.

Список лит.: 4 наим.

Sadeghi M.D.-A. Influence of hydrodynamic loads on the elastic deformation of friction units support surfaces

The method of the accounting of hydrodynamic load of basic surfaces of a friction is offered at its discrete influence in time for the solution of the differential equations which describe elastic deformation of elements of basic surfaces.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2012