

8. McCulloch W. S. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity / W.S. McCulloch, W. Pitts // Bulletin of Mathematical Biophysics. – 1943. – № 5. – 115-133 p.
9. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей / А.Н. Горбань. – М. : СП Параграф, 1990. – 324 с.
10. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М. : Изд-во "Горячая линия – Телеком", 2001.

Муніб М.Б. Використання генетичних алгоритмів для навчання мереж зворотного поширення помилки

Навчання мереж зворотного поширення помилки відбувається з використанням генетичних алгоритмів. Представлено нейронну мережу зворотного поширення помилки. Наведено метод застосування генетичного алгоритму для навчання нейронної мережі, запропоновано блок-схему роботи алгоритму, описано процес навчання, отримано позитивний результат мінімізації помилки.

Ключові слова: генетичний алгоритм, нейронні мережі, процес навчання мережі, зворотне поширення помилки, шар нейронів, вихідний вектор, вхідний вектор.

Munib M.B. Using genetic algorithms for learning networks backward error propagation

The training of back propagation of error comes from the use of genetic algorithms. Provides neural network back propagation of error. Is a method of use of the genetic algorithm for neural network training, offered a block diagram of the algorithm, described the process of learning, we have received positive result of error minimization.

Keywords: the genetic algorithm, neural network, the process of learning network, backward errors expansion, the neurons, the output vector, the input vector.

УДК 539.3

Доц. В.М. Онишкевич, канд. фіз.-мат. наук;
доц. Б.М. Гнідець, канд. фіз.-мат. наук;

доц. І.Ф. Солтис, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО КОНТАКТУ В ТРИБОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧАХ

Розглянуто різні умови теплового контакту пари тертя. Проаналізовано адекватність їх застосування під час моделювання теплових процесів в елементах конкретної трибосистеми з максимальною точністю. Обґрунтовано доцільність застосування умов неідеального теплового контакту в різних формах. Встановлено необхідність урахування контактного термоопору у постановці та розв'язуванні трибологічних задач.

Ключові слова: теплоутворення, термоопір, неідеальний контакт.

Вступ. Тепловий аналіз є невід'ємною частиною проектування сучасних вузлів тертя. Тому теплова задача тертя – визначення температурних полів у контактуючих тілах за їх відносного ковзання є однією з важливих задач трибології та триботехніки.

Температури тіл тертя значною мірою впливають на процеси, які відбуваються в області контакту, адже теплові стани тіл істотно впливають на механіку їх контактної взаємодії. Це виражається у вигляді термопружних переміщень точок поверхонь контактуючих тіл, що призводить до зміни областей взаємодії і перерозподілу контактних напружень. Істотно залежать від температури коефіцієнт тертя і фізико-механічні властивості, такі як модуль пружності, границя міцності та ін. Не можна нехтувати впливом теплових полів і на фізико-хімічні процеси – зміна структури будови тіл, утворення оксидних плівок на

поверхнях тертя та ін. Вигляд та інтенсивність зношування тіл також значною мірою визначаються їх температурами в області контакту. Основним недоліком постановки теплової задачі тертя є те, що теплові процеси досліджуються в спряжених тілах, як правило, окремо, а розподіл теплової енергії між ними, відповідно, є наперед заданим.

Ідеальний тепловий контакт. Теплові задачі тертя належать до контактних задач, тобто обов'язковою є наявність двох взаємодіючих тіл. Крім цього, в області контакту є джерело тепла як результат перетворення механічної енергії тіл в кінетичну енергію теплових коливань молекул при терті.

Внаслідок тепловиділення густина теплового потоку в області S з r контакту тіл стрибкоподібно змінюється, і умова спряження густини теплового потоку має вигляд

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(r, t)}{\partial n} + \lambda_2 \frac{\partial T_2(r, t)}{\partial n} = q(t), \quad (1)$$

де індексами "1" і "2" позначено величини, які відносяться відповідно до першого і другого тіл, n – одинична нормаль до поверхні S , внутрішня відносно іншого тіла; q – питома потужність тепловиділення. Для повної характеристики теплової взаємодії тіл необхідно використати умову [15]

$$T_1(r, t) = T_2(r, t). \quad (2)$$

Умови (1), (2) у трибології називають умовами ідеального теплового контакту. При ідеальному тепловому контакті густина теплових потоків, які поступають у тіла, є наперед невідомою і визначається в процесі розв'язування задачі. Насправді взаємодія тіл здійснюється не по усій номінальній поверхні тертя, а у дискретних областях. Розміри цих областей дуже малі, а температура в них істотно перевищує середню температуру номінальної області контакту [9]. Тому умови ідеального теплового контакту не дають змогу адекватно описувати теплові процеси, якщо їх задавати на номінальній поверхні тертя.

Неідеальний тепловий контакт. Для визначення температурних полів у елементах реальних трибосистем використовують різні умови неідеального теплового контакту, які дають змогу розраховувати температури тіл у номінальній області взаємодії. Ці температури також визначаються експериментальним шляхом [2, 8], і цим самим встановлюють зв'язок між теорією і експериментом.

При інженерних розрахунках часто використовують умови неідеального теплового контакту з розподілом теплових потоків [14]:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(r, t)}{\partial n} = \alpha_{ТП} q(t), \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2(r, t)}{\partial n} = (1 - \alpha_{ТП}) q(t); \quad (3)$$

де $\alpha_{ТП}$ – коефіцієнт розподілу теплових потоків.

Коефіцієнт $0 < \alpha_{ТП} < 1$ показує, яка частина теплоти, виділеної при терті, поступає в перше тіло. У друге тіло іде, відповідно, частина $(1 - \alpha_{ТП})$ теплової енергії. За таких умов теплова задача становить дві незалежні задачі для кожного тіла тертя з граничною умовою II роду. Коефіцієнт розподілу теплових потоків визначається з умови рівності температур тіл у дискретних областях контакту. У загальному випадку перехід від контактних умов (2) до умов (3) є неко-

ректним, оскільки із фізичних міркувань величина α_{TP} є змінною в часі, і застосування умов (3) призводить до появи різниці температур тіл в області контакту. Відомо [1], що коефіцієнт розподілу теплових потоків є сталим при ідеальному тепловому контакті напівобмежених тіл тертя. У цьому випадку перехід від умов ідеального теплового контакту до умов (3) є правомірним.

Для визначення температур тіл тертя у номінальній області їх взаємодії доцільно використовувати умови неідеального теплового контакту [13], які враховують вплив різниці температур тіл на розподіл тепла між ними:

$$\begin{aligned} -\lambda_1 \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial n} &= \alpha_{ET} q(t) - \gamma (T_1(r,t) - T_2(r,t)); \\ \lambda_2 \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial n} &= (1 - \alpha_{ET}) q(t) + \gamma (T_1(r,t) - T_2(r,t)), \end{aligned} \quad (4)$$

де α_{ET} – коефіцієнт розподілу енергії тертя [12]. Коефіцієнт $0 < \alpha_{ET} < 1$ показує, яка частина енергії утворюється у вигляді тепла на поверхні тертя першого тепла внаслідок руйнування адгезійних зв'язків у фактичних областях контакту та деформації шорстких нерівностей. Решту $(1 - \alpha_{ET})$ енергії виділяється на поверхні тертя другого тіла.

Початково умови були сформульовані для теплової взаємодії напівобмежених тіл тертя, і температури T_1 і T_2 у правих частинах рівностей (4) брались не в області контакту $S \in r$, а у безмежно віддалених точках тіл. Подання контактних теплових умов у вигляді (4) припускає, що основний вплив на розподіл густини теплових потоків мають мікроскопічні термоопори тіл, які визначають різницю між температурою в дискретних областях контакту і температурою на номінальній поверхні тертя.

Параметри α_{ET} і γ , як і коефіцієнт розподілу теплових потоків у (3), визначаються з умови рівності температур тіл у дискретних областях контакту. Теплопровідність контакту γ спричиняє появу теплового потоку із тіла з вищою температурою в області взаємодії в тіло з меншою контактною температурою. Такий перерозподіл густини теплових потоків зумовлює різницю між значенням α_{TP} коефіцієнта розподілу теплових потоків і значенням α_{ET} коефіцієнта розподілу енергії тертя.

Умови (4) при $\gamma \rightarrow 0$ вироджуються в умови (3) неідеального теплового контакту з розподілом теплових потоків, а при $\gamma \rightarrow \infty$ із них отримуються умови ідеального теплового контакту. У [11] було запропоновано умови неідеального теплового контакту, які за наявності джерела теплоти в області взаємодії тіл набувають вигляду [3]

$$\begin{aligned} -\lambda_1 \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial n} + \lambda_2 \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial n} &= q(t); \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial n} + \lambda_2 \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial n} &= 2\gamma (T_1(r,t) - T_2(r,t)). \end{aligned} \quad (5)$$

Ці контактні умови є частковим випадком (4) при $\alpha_{ET} = 1/2$, тобто, якщо тепла енергія виділяється в однакових частинах на поверхнях тертя тіл.

Моделювання теплового контакту "третім тілом". Припускається, що режими тертя, зношування і тепловиділення визначаються характеристиками так званого "третього тіла" – тонких приповерхневих і проміжкових шарів, фізико-механічні властивості яких відрізняються від властивостей взаємодіючих тіл, та мікрогеометрією поверхонь тіл у зоні контакту. При математичному моделюванні контактної термопружності з урахуванням тертя і тепловиділення в можна використати узагальнені умови теплового контакту (5) у формі

$$\begin{aligned} \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n} - \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n} &= \frac{c}{2} (\dot{T}_1 + \dot{T}_2) - Q; \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n} + \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n} - 2h(T_1 - T_2) &= \frac{c}{6} (\dot{T}_1 + \dot{T}_2), \end{aligned} \quad (6)$$

де: n – нормаль до поверхні контактуючих тіл, c – зведена теплоємність, h^{-1} – термоопір контакту. Для розрахунку термопроникливості контакту h є необхідними такі характеристики [10]: механічні характеристики матеріалів пари тертя; коефіцієнти теплопровідності λ_1 і λ_2 матеріалів поверхонь тіл; параметри середовища, яке знаходиться в проміжках між тілами; чистота оброблення (середньоквадратичне значення жорсткості) поверхонь $\Delta l = l_1 + l_2$; номінальний тиск P між тілами на ділянці контакту; номінальна площа S контакту; твердість за Мейєром μ м'якшого тіла; середня температура $\bar{T}$ контакту; параметри середовища в проміжках між плямами фактичного контакту тіл; випромінювальна здатність ε_1 і ε_2 поверхонь тіл; середня довжина l_0 вільного пробігу молекул газу в щілинах при низьких тисках газу в проміжках. Залежність термопроникливості контакту від ряду чинників (тиску P між тілами на ділянці контакту, твердості за Мейєром μ , коефіцієнта теплопровідності матеріалів контактуючих тіл у випадку $\lambda_1 = \lambda_2$, чистоти оброблення поверхонь Δl) подано на рис.

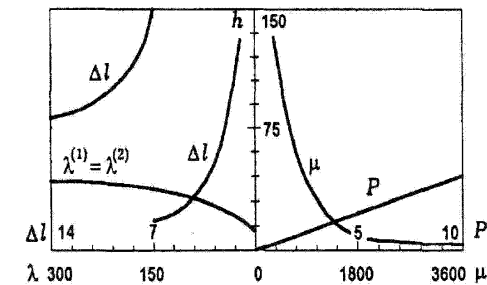


Рис. Залежність термопроникливості контакту від вхідних параметрів

В [7] було вперше з'ясовано, що ділянка недосконалого теплового контакту може бути причиною термомеханічного розшарування ізотропних тіл. Важливим поступом є запропонована в [5] методика вивчення термопружної взаємодії ізотропних тіл з узгодженими межами за наявності між ними локального теплопроникного просвіту, зумовленого плиткою поверхневою виїмкою. Тобто, за одностороннього контакту тіл на деякій частині ділянки з термоопором відбуватиметься розшарування і утворюватиметься міжповерхневий просвіт, розміри якого є наперед невідомими та залежать від прикладеного механічного

ного і термічного навантаження. Вважається, що просвіт заповнюється теплопроникним середовищем, яке не чинить тиску на взаємодіючі тіла. Зважаючи на малі розміри просвіту, його вплив на температурні поля моделюється [6] термоопором $\Omega(r) = h(r)/\lambda$, де λ – коефіцієнт теплопровідності заповнювача, при цьому контактний термоопір між тілами на ділянці розшарування дорівнюватиме сумі поверхневого термоопору $R(r)$ та термоопору просвіту $\Omega(r)$.

Висновки. Умови неідеального теплового контакту (4) є узагальненням розглянутих випадків (1)–(3) та (5)–(6). Точні розв'язки теплових задач тертя для контактних умов (4) становлять науковий і практичний інтерес, оскільки з їх допомогою можна описати теплові процеси в елементах трибосистеми за різних умов їх теплової взаємодії.

Істотним є питання єдиності розв'язку, оскільки його знаходження аналітичним методом з дотриманням усіх вимог, які накладаються на функції, фактично доводить існування розв'язку. Теплова задача тертя, сформульована у вигляді крайової задачі теплопровідності для двох спряжених тіл, поставлена коректно, якщо розв'язок такої задачі в області, яка розглядається, є єдиним та стійким [4].

Література

1. Беляков Н.С. Неидеальный тепловой контакт тел при трении / Н.С. Беляков, А.П. Носко. – М. : Кн. дом "Либроком", 2010. – 104 с.
2. Богданович П.Н. Методы регистрации температуры при трении и механической обработке твёрдых тел / П.Н. Богданович, Д.В. Ткачук, В.М. Белов // Трение и износ. – 2006. – Т. 27, № 4. – С. 444-456.
3. Гриліцький Д.В. Термопружні контактні задачі в трибології / Д.В. Гриліцький. – К. : Вид-во ІЗМН, 1996. – 204 с.
4. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твёрдых тел / Э.М. Карташов. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 2001. – 552 с.
5. Мартиняк Р.М. Вплив теплопровідності заповнювача міжконтактного просвіту на термопружну взаємодію тіл / К.А. Чумак, Р.М. Мартиняк // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2009. – № 9. – С. 160-169.
6. Мартиняк Р.М. Термопружне розшарування тіл за наявності теплопроникного заповнювача міжконтактного просвіту / Р.М. Мартиняк, К.А. Чумак // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2009. – Т. 45, № 4. – С. 45-52.
7. Мартыняк Р.М. Термоупругое контактное взаимодействие тел при наличии поверхностных теплофизических неоднородностей / Р.Н. Швеиц, Р.М. Мартыняк // Математические методы и физико-механические поля. – 1988. – Т. 27. – С. 23-28.
8. Носко А.Л. Исследование температуры поверхности трения пары металл – ФАПМ термомпарами различных типов / А.Л. Носко, А.М. Ромашко, В.Д. Кожемякина // Трение и износ. – 1982. – Т. 3, № 6. – С. 1086-1093.
9. Носко А.П. Выбор модели геометрии контакта при моделировании тепловых процессов трения / А.П. Носко // Трение и износ. – 2009. – Т. 30, № 2. – С. 174-185.
10. Онишкевич В.М. Дослідження впливу властивостей "третього тіла" на теплоутворення від тертя / В.П. Левицький, В.М. Онишкевич // Математичні методи та фізико-механічні поля. – 1999. – Т. 42, № 1. – С. 82-86.
11. Подстригач Я.С. Температурное поле в системе твёрдых тел, сопряжённых с помощью тонкого промежуточного слоя / Я.С. Подстригач // Инженерно-физический журнал (ИФЖ). – 1963. – Т. 6, № 10. – С. 129-136.
12. Протасов Б.В. О электрическом моделировании распределения тепловых потоков при внешнем трении / Б.В. Протасов, А.П. Рамзаев // Машиноведение. – 1973. – № 5. – С. 82-85.
13. Barber J.R. The Conduction of Heat from Sliding Solids / J.R. Barber // Int. J. Heat Mass Transfer – 1970. – Vol. 13. – Pp. 857-869.

14. Blok H. Theoretical Study of Temperature Rise at Surfaces of Actual Contact under Oiliness Lubricating Conditions / H. Blok // Proc. Inst. Mech. Eng. London. – 1937. – Vol. 2. – Pp. 222-235.
15. Ling F.F. A Quasi-Iterative Method for Computing Interface Temperature Distribution / F.F. Ling // Z. angew. Math. und Phys. 1959. – Vol. 10, No. 5. – P. 461-474.

Онышкевич В.М., Гнидец Б.М., Солтыс И.Ф. Моделирование теплового контакта в трибологических задачах

Рассмотрены различные условия теплового контакта пары трения. Проанализирована адекватность их применения при моделировании тепловых процессов в элементах конкретной трибосистемы с максимальной точностью. Обоснована целесообразность применения условий неидеального теплового контакта в различных формах. Установлена необходимость учёта контактного термического сопротивления при постановке и решении трибологических задач.

Ключевые слова: теплообразование, термическое сопротивление, неидеальный контакт.

Onyshkevych V.M., Gnids B.M., Soltys I.F. Modelling of heat contact in tribological problems

The various conditions of heat contact of frictional couple are considered. Their adequacy of using during modelling of heat processes in the elements of tribosystem with maximal precision is analyzed. Reasonable of using of non-ideal contact conditions in the different forms is substantiated. Necessity of taking into account of contact thermal resistance in the statement and solving of tribological problems is established.

Keywords: heat generation, thermal resistance, non-ideal contact.

УДК 330.46

Доц. Є.І. Цікало, канд. екон. наук –
Львівський НУ ім. Івана Франка

ВЛАСТИВОСТІ ІНТЕГРОВАНІХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ: КІБЕРНЕТИЧНИЙ АСПЕКТ ФОРМУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ

Розглянуто та проаналізовано зміст властивостей інтегрованих систем управління з позицій кібернетичного підходу до дослідження систем. Інтерпретовано властивості систем у контексті реалізації кібернетичних законів. Визначено напрями розвитку інтегративних якостей властивостей систем управління.

Ключові слова: властивості системи, закони кібернетики, інтегрована система управління, інформаційна система, структура системи, функції системи.

Постановка проблеми. Намагання найкращим чином побудувати і використовувати систему управління пов'язують з досягненням нею рангу інтегрованої. Від того, наскільки властивості системи є принципово визначені та наповнені інтеграційним змістом, залежить ефективність її функціонування. Навіть адаптуючи придбану інтегровану інформаційну систему управління, необхідно за властивостями ґрунтовно оцінити відповідність її функцій і параметрів вимогам системології інтегрованого управління в конкретному застосуванні, а також можливість їх досягнення. Тому дослідження питань набуття і підтримки властивостей з інтегративними якостями актуальне під час як розроблення, так і функціонування системи управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під управлінням традиційно розуміють вироблення і здійснення суб'єктом цілеспрямованих впливів на об'єкт. Системний підхід до управління передбачає розгляд суб'єкта й об'єкта як