

УДК 539.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ КОНТАКТУЮЧИХ ТЕРМОЧУТЛИВИХ ТІЛ ЗА ФРИКЦІЙНОГО НАГРІВАННЯ

Роман Кушнір, Оксана Вовк, Тетяна Соляр

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, м. Львів

У роботі запропоновано використання аналітично-числового підходу, що ґрунтується на застосуванні методів послідовних наближень, лінеаризувальних параметрів, інтегрального перетворення Лапласа та його обернення за формулою Пруднікова, до розв'язування задач теплопровідності термочутливих тіл за фрикційного нагрівання. Раніше підхід був апробований на ряді задач теплопровідності для ідеально контактуючих тіл за складного теплообміну [1, 2]. Числові дослідження підтвердили ефективність його застосування до розглядуваного класу задач. Тут проведено аналогічні дослідження для термочутливих тіл за неідеального контакту, а саме внаслідок дії сил тертя. В науковій літературі знаходимо різні підходи до розв'язування таких задач, особливо багато праць стосовно даної проблематики належать Євтушенку та його учням, зокрема [3, 4]. На відміну від їхніх досліджень, де розглянуто термочутливі тіла з простою нелінійністю, використання запропонованого підходу дозволяє не накладати обмежень на характер зміни теплових характеристик матеріалів контактуючих тіл.

Визначимо нестационарні температурні поля t_j термочутливих півпростору та шару, через поверхню якого відбувається променево-конвективний теплообмін зі середовищем сталої температури t_c . З початкового моменту часу $\tau = 0$ шар починає рухатись у додатному напрямку осі Oy зі сталою швидкістю v по поверхні півпростору. Внаслідок цього відбувається нагрівання співдотичних тіл. Вважаємо, що тепловий контакт тіл є недосконалим, тобто через поверхню тертя між ними відбувається теплообмін зі сталим коефіцієнтом контактної провідності h , сума інтенсивностей теплових потоків, напрямлених всередину кожного тіла вздовж нормалі до поверхні контакту, дорівнює питомій потужності тертя $q = fvp$, де f – коефіцієнт тертя. Зношуванням поверхонь нехтуємо.

Для визначення нестационарних температурних полів півпростору та шару за описаних умов маємо нелінійну задачу теплопровідності

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_i^j(t_j) \frac{\partial t_j}{\partial z} \right) = c_v^j(t_j) \frac{\partial t_j}{\partial \tau}, \quad j = \begin{cases} 1, & 0 < z \leq z_0; \\ 2, & z < 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$t_j \Big|_{\tau=0} = t_p, \left(\lambda_t^1(t_1) \frac{\partial t_1}{\partial z} + \alpha(t_1 - t_c) + \sigma \varepsilon (t^4 - t_c^4) \right) \Big|_{z=z_0} = 0, \frac{\partial t_2}{\partial z} \Big|_{z \rightarrow -\infty} = 0, \quad (2)$$

$$\left(\lambda_t^2(t_2) \frac{\partial t_2}{\partial z} - \lambda_t^1(t_1) \frac{\partial t_1}{\partial z} \right) \Big|_{z=0} = q, \left(\lambda_t^2(t_2) \frac{\partial t_2}{\partial z} + \lambda_t^1(t_1) \frac{\partial t_1}{\partial z} \right) \Big|_{z=0} = h(t_1 - t_2) \Big|_{z=0}, \quad (3)$$

де $\lambda_t^j(t_j)$, $c_v^j(t_j)$ – залежні від температури коефіцієнти теплопровідності та об'ємні теплоємності матеріалів півпростору та шару відповідно, t_p – їх початкова температура, α – коефіцієнт теплообміну через поверхню $z = z_0$, σ – стала Стефана – Больцмана, ε – ступінь чорноти.

У результаті застосування аналітично-числового підходу розв'язання вихідної нелінійної задачі (1)–(3) зводиться до розв'язування з наперед заданою точністю послідовності лінійних крайових задач теплопровідності на змінні Кірхгофа з використанням перетворення Лапласа і його обернення за формулою Пруднікова з уточненими на попередньому ітераційному кроці величинами.

На основі отриманих розв'язків досліджено тепловий стан такої кусково-однорідної структури за фрикційного нагрівання та сталої температури на його поверхні. Для встановлення достовірності отриманих результатів проведено їх порівняння з результатами, отриманими в роботах [3, 4] за припущення простої нелінійності матеріалів.

1. *Вовк О. М., Соляр Т. Я.* Термопружний стан контактуючих термочутливих півпростору та шару // *Мат. методи та фіз.-мех. поля.* – 2018. – **61**, № 4. – С. 78–87.
2. *Вовк О. М., Соляр Т. Я.* Термопружний стан контактуючих термочутливих пів простору та шару за складного теплообміну // *Мат. методи та фіз.-мех. поля.* – 2020. – **63**, № 3. – С. 113–122.
3. *Свтушенко О., Куцєй М., Ох Е.* Вплив термочутливості матеріалів на температуру під час тертя // *Фізико-хімічна механіка матеріалів.* – 2014. – № 1. – С. 117–122.
4. *Свтушенко О., Куцєй М., Ох Е.* Моделювання температурного режиму гальмівної системи з урахуванням термочутливості матеріалів // *Фізико-хімічна механіка матеріалів.* – 2014. – № 3. – С. 77–83.

RESEARCH OF THERMAL STATE OF THE CONTACTING THERMOSENSITIVE BODIES UNDER FRICTION HEATING

A solution of nonlinear thermal conductivity problem for contacting thermosensitive half-space and layer under radial-convective heat exchange and friction heating using the analytical-numerical approach was constructed. The approach is based on the use of methods of successive approximations, linearizing parameters, Laplace integral transformation and its inversion according to Prudnikov's formula.