

УДК 62-597.6

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ОБ'ЄМНОЇ ТЕПЛОВОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ДИСКОВИХ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ АВТОМОБІЛІВ

Полупан Є.В., Шевченко С.І., Мірошникова М. В., Полупан Ю.В.

THEORETICAL BACKGROUND FOR CALCULATION OF BODY HEAT LOADING OF DRIVE BRAKE DEVICES OF AUTOMOBILES

Polupan E., Shevchenko S., Miroshnykova M., Polupan J.

У статті розглянуті процеси переносу теплоти за рахунок теплопровідності при відсутності внутрішніх джерел тепла, коли температура системи змінюється не тільки від точки до точки, але і з плином часу. Розглянуто питання підвищення ефективності роботи гальмівного пристрою, що полягає в зниженні теплової навантаженості фрикційного вузла, завдяки аналізу та розгляду теплових процесів, що проходять при роботі дискового гальма. Розглянуто питання теоретичного розрахунку зміни температурних полів по глибині накладки і контртіла дискового гальмівного пристрою автомобіля.

Ключові слова: гальмівний пристрій, накладка, диск, температура

Підвищення ефективності роботи гальмівного пристрою, що полягає в стабілізації коефіцієнта тертя і зниження теплової навантаженості фрикційного вузла можна досягти шляхом зменшення товщини фрикційної накладки і збільшення поверхонь охолодження вузла тертя.

Вступ. Процеси переносу теплоти за рахунок теплопровідності при відсутності внутрішніх джерел тепла, коли температура системи змінюється не тільки від точки до точки, але і з плином часу називаються нестационарними тепловими процесами [1]. Вони мають місце при нагріванні (охолодженні) різних заготовок і виробів, виробництві скла, випалюванні цегли, вулканізації гуми, пуску і зупинці різних теплообмінних пристроїв, енергетичних агрегатів і т. п.

Серед практичних задач нестационарної теплопровідності найважливіше значення мають дві групи процесів: а) тіло прагне до теплової рівноваги; б) температура тіла зазнає періодичні зміни.

До першої групи належать процеси прогріву або охолодження тіл, поміщених в середу з заданим тепловим станом, наприклад, прогрів болванки в печі, охолодження металевих брусків і чушок, охолодження заготованих деталей і т. п.

До другої групи належать процеси в періодично діючих підігрівачах, наприклад, теплові процеси регенераторів, насадка яких то нагрівається димовим газом, то охолоджується повітрям. На рис. 1 показаний характер кривих, отриманих при нагріванні однорідного твердого тіла в середовищі з постійною температурою $t_{ж}$. По міру нагрівання температура в кожній точці асимптотично наближається до температури нагріваючого середовища. Як видно з малюнка, найбільш швидко змінюється температура точок, що лежать поблизу поверхні тіла. Зі збільшенням часу прогріву ця різниця буде зменшуватися і теоретично через досить великий проміжок часу вона дорівнюватиме нулю. Таким чином, нестационарні теплові процеси завжди пов'язані зі зміною внутрішньої енергії або ентальпії речовини.

Рішення теплової задачі тертя в гальмі, в загальному випадку, передбачає вирішення трьох завдань:

- визначення кількості тепла, що надходить в кожен елемент пари тертя;
- рішення задачі про поширення тепла в елементі пари тертя;
- визначення здатності елемента пари тертя віддавати тепло в навколишнє середовище.

Постановка проблеми. З аналізу практики експлуатації автомобільного транспорту можна зробити висновок, що одним з найбільш слабких місць серед механізмів є гальмівні пристрої. Проте до сьогодні не досягнуто задовільних практичних результатів з поліпшення стабільності роботи і довговічності фрикційних елементів гальмівних пристроїв, а також відсутні методи розрахунку теплової навантаженості гальмівних пристроїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При розрахунках гальмівних пристроїв передбачається, що в процесі гальмування кінетична енергія гальмуючих мас повністю перетворюється в тепло [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] і в основному, розподіляється між

елементами пари тертя. Частина тепла безпосередньо від поверхні тертя передається в навколишнє середовище.

При вирішенні задачі поширення тепла в елементах фрикційної пари гальма на поверхні тертя задаються граничні умови, тобто. задається інтенсивність теплового потоку. Для її визначення необхідно обчислити поточну реалізовану потужність тертя. Питання визначення роботи гальмування для гальмівних пристроїв розглянуті М. П. Александровим [3, 11].

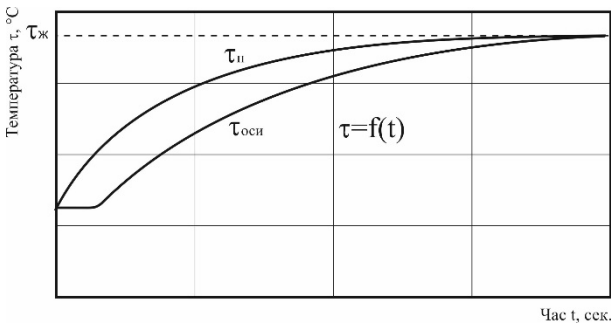


Рис. 1. Характер зміни температури тіла при нагріванні в часі [3]

Аналіз залежності поточної потужності тертя від характеристик фрикційної теплостійкості наведено в роботі [13].

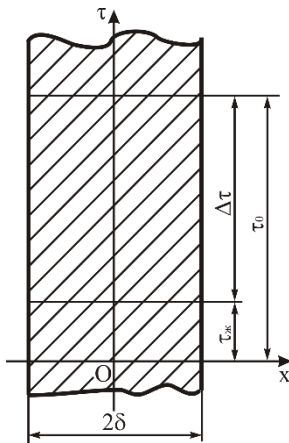


Рис. 2. До охолодженню плоскої необмеженої пластини

Частка тепла, що надходить в кожен момент часу в поверхні пари тертя, враховується за допомогою коефіцієнта розподілу теплових потоків $a_{ТП}$. В літературі наводяться формули для визначення цього коефіцієнта [12] при різних конструктивних умовах. Згідно Ньюкомба в гальмівних пристроях в чавунне контртіло надходить 99% тепла при роботі в парі з асбосмоляними накладками і 96% - з металокерамічними.

Мета статті. В роботі зроблено спробу розрахунку температурних полів фрикційних накладок дискових гальм у процесі охолодження.

Основний зміст. Дослідження температурного поля елементів пари тертя базується на рішенні рів-

няння теплопровідності Фур'є з відповідними граничними умовами. Однак отримання точних рішень задачі про поширення тепла в елементах гальма дуже важко з ряду причин, серед яких можна назвати наступні:

- складність конфігурації реальних деталей;
- різноманітність і складність граничних умов;
- складність взаємодії реальних деталей при терті;
- наявність деталей з різними фізичними властивостями.

Зазвичай завдання спрощують, виходячи з практичних вимог і обчислювальних можливостей.

Аналітичний опис процесів теплопровідності включає в себе диференціальне рівняння і умови однозначності.

Диференціальне рівняння теплопровідності при відсутності внутрішніх джерел тепла має вигляд [1, 14]:

$$\frac{\partial \tau}{\partial t} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial z^2} \right). \quad (1)$$

Умови однозначності задаються у вигляді:

- фізичних параметрів λ, c, ρ ;
- форми і геометричних розмірів об'єкта $l_0, l_1, l_2, \dots, l_n$;

температури тіла в початковий момент часу

$$t = 0, \tau = \tau_0 = f(x, y, z).$$

Граничні умови можуть бути задані у вигляді граничних умов третього роду:

$$\left(\frac{\partial \tau}{\partial n} \right)_{n=0} = -\frac{\alpha}{\lambda} (\tau_{n=0} - \tau_{ж}). \quad (3)$$

Диференціальне рівняння теплопровідності (1) разом з умовами однозначності (2) і граничними умовами (3) дає закінчений математичний вигляд, що описує розглянуту задачу. Рішення її полягає в пошуку функції,

$$\tau = f \left(x, y, z, t, \alpha, a, \tau_0, \tau_{ж}, l_0, l_1, \dots, l_n \right) \quad (4)$$

яка задовольняла б рівняння (1) і умов (2) і (3).

Для випадку охолодження (нагрівання) плоскою колодки і диска дискового гальма.

Якщо товщина пластини мала в порівнянні з її довжиною і шириною, то така пластинка називається необмеженою [1, 14].

При заданих граничних умовах коефіцієнт тепловіддачі однаковий для всіх точок поверхні пластини. Зміна температури відбувається тільки в одному напрямку по товщині пластини, в двох інших напрямках температура не змінюється, тоді в просторі задача є одновимірною. Початковий розподіл температури задаємо деякою функцією $\tau(x, 0) = f(x)$. Охолодження відбувається в середовищі з постійною температурою $\tau_{ж} = const$. На обох поверхнях відведення теплоти здійснюється при постійному в часі коефіцієнті тепловіддачі. Відлік температури пластини для будь-якого моменту часу будемо вести від температури навколишнього середовища $\Delta \tau = \tau - \tau_{ж}$.

Внаслідок одномірності завдання диференціальне рівняння (1) приймає вигляд:

$$\frac{\partial \Delta \tau}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 \Delta \tau}{\partial x^2} \quad (5)$$

Початкові умови:

$$\text{при } t = 0 \quad \Delta \tau = \Delta \tau_0 = f(x) \quad -\tau_{xc} = F(x).$$

При заданих умовах охолодження задача стає симетричною, і початок координат для зручності поміщаємо відповідно до рис. 2. При цьому граничні умови для осі і поверхні приймають вид [1]:

$$\left. \begin{array}{l} \text{а) на осі пластини при } x = 0 \\ \left(\frac{\partial \Delta \tau}{\partial x} \right)_{x=0} = 0; \\ \text{б) на поверхні пластини при } x = \delta \\ \left(\frac{\partial \Delta \tau}{\partial x} \right)_{x=\delta} = -\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \Delta \tau_{x=\delta}. \end{array} \right\} \quad (6)$$

Рішення диференціального рівняння (5) будимо шукати за допомогою розділення змінних у вигляді добутку двох функцій, одна функція від t , а інша від x [1]:

$$\Delta \tau = \Delta \tau(t, x) = \varphi(t) \cdot \psi(x). \quad (7)$$

Підставляючи вираз (7) в початкове диференціальне рівняння (5), отримуємо:

$$\frac{\partial \phi(t)}{\partial t} \cdot \psi(x) = a \cdot \frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial x^2} \cdot \phi(t)$$

або

$$\phi'(t) \cdot \psi(x) = a \cdot \psi''(x) \cdot \phi(t).$$

В останньому рівнянні змінні легко розділяються і його можна переписати у вигляді, в якому ліва частина рівняння буде функцією тільки від t , а права - тільки від x :

$$\frac{\phi'(t)}{\phi(t)} = a \cdot \frac{\psi''(x)}{\psi(x)}. \quad (8)$$

Після нескладних математичних висновків і перетворень [1, 14] отримуємо остаточний вираз для температурного поля при охолодженні (нагріванні) однорідної пластини,

$$\Delta \tau = \sum_{n=1}^{n \rightarrow \infty} \times \left(\int_{-\delta}^{+\delta} F(x) \cdot \cos \left(\mu_n \cdot \frac{x}{\delta} \right) \cdot dx \right) \times \cos \left(\mu_n \cdot \frac{x}{\delta} \right) \cdot e^{-\mu_n^2 \frac{a \cdot t}{\delta^2}} \quad (9)$$

де δ - товщина пластини;

μ_n - корені характеристичного рівняння [1];

$$\int_{-\delta}^{+\delta} F(x) \cdot \cos \left(\mu_n \cdot \frac{x}{\delta} \right) \cdot dx \quad - \text{початковий розподіл}$$

температури;

$$\frac{a \cdot t}{\delta^2} = F_0 \quad - \text{число Фур'є.}$$

Висновок. В роботі проаналізовано та розглянуті теплові процеси, що проходять при роботі гальма. Розглянуто приватні рішення рівняння теплопровідності Фур'є стосовно до гальмівного пристрою.

Л і т е р а т у р а

1. Ісаченко В. П. та ін. Теплопередача: [Підручник для вузів] / В. П. Ісаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомель - 4-е изд., Перераб. і доп. - М.: Энергоіздат, 1981. - 416_11 с.: іл., Табл.
2. Костерін Ю. І. Деякі методичні питання натурних випробувань автомобільних гальмівних накладок // Розрахунок і випробування фрикційних пар: Зб. науч. робота. - М.: Машинобудування, 1974.
3. Гальмівні пристрої: [Довідник] / М. П. Александров, А. Г. Лисяков, В. Н. Федосєєв, М. В. Новожилов; За заг. ред. М. П. Александрова. - М.: Машинобудування, 1985. -312_2 с., Іл.
4. Довідник по кранах: У 2 т. Т. 2. Характеристики і конструктивні схеми кранів. Кранові механізми, їх деталі та вузли. Технічна експлуатація кранів / М. П. Александров, М. М. Гохберг, О. А. Ковин і ін.; За заг. ред. М. М. Гохберг. - Л.: Машинобудування. Ленінград. отд-ня, 1988 г. - 559 с.: іл.
5. Гайдамака В. Ф. Вантажопідйомні машини: Підручник К.: Вища шк. Головне вид-во, 1989.-328 с.: іл.
6. Чотирбоки Ф.М. Гальмування кранових механізмів. - М.: Машгиз. 1950. - 158 с.
7. Федосєєв В.М., Чіковані М.Г. Триботехника гальм підйомно-транспортних машин. / Теорія розрахунок і дослідження ПТМ.: Праці МВТУ. - М., 1985, №438, С. 42-57.
8. Зальцерман І. М., Комінській Д. П., Онопко А. Д. Фрикційні муфти і гальма гусеничних машин. - М.: Машинобудування, 1965, - 272 с.
9. Іноземцев В. Г. Теплові розрахунки при проектуванні та експлуатації гальм. - М.: Транспорт, 1966, -40 с.
10. Піжєвіч Л. М. Розрахунок фрикційних гальм. - М.: Машинобудування, 1984. -228 с.
11. Александров М. П. Дослідження теплового режиму кранових гальм. Дис. доктора. техн. наук: М., 1953.
12. Іноземцев В. Г. Гальма залізничного рухомого складу. -М.: Транспорт, 1979. - 424_1 с., Іл. табл. - Бібліограф.: с. 422.
13. Ромашко А. М. Дослідження дискових колодкових гальм підйомно-транспортних машин. Дис. ... кандидата техн. наук: М., 1979. - 254 с.
14. Ликов А. В. Теорія теплопровідності. - М.: Вища школа, 1967. - 599 с.

References

1. Isachenko V. P. et al. Heat transfer: [Textbook for high schools] / V.P. Isachenko, V.A. Osipov, A.S. Sukomel - 4th ed., Pererab. and add - M.: Energoizdat, 1981. - 416_11 pp.: Ill., Table.
2. Kosterin Yu. I. Some methodical questions of full-length tests of automotive brake linings // Calculation and testing of friction pairs: Zb. scientific work. - M.: Mechanical Engineering, 1974.
3. Brake devices: [Reference book] / M.P. Aleksandrov, A.G. Lisyakov, V.N. Fedoseev, M.V. Novozhilov; For zag Ed. MP Aleksandrov. - M.: Mechanical Engineering, 1985. -312_2 pp., Ill.
4. Handbook of taps: In 2 t. T. 2. Characteristics and design schemes of cranes. Crane mechanisms, their parts and assemblies. Technical operation of cranes / MP

- Aleksandrov, M. M. Gohberg, O. A. Kovin, and others; For zag Ed. M. M. Gohberg. - L.: Machine-building. Leningrad Otd-nya, 1988 - 559 pp.: Ill.
5. Haydamak VF Lifting Machines: Textbook K.: Higher Shk. The main species-in, 1989.-328 pp. : il.
 6. Chetyrboki FM Braking of crane mechanisms. - M.: Mashgiz. 1950 - 158 pp.
 7. Fedoseev VM, Chikovany M.G. Tribotechnics of the brakes of lifting-transport vehicles. / Theory of calculation and research of PTM.: Proceedings of MVTU. - Moscow, 1985, No. 438, pp. 42-57.
 8. Salzermann I. M., Kominsky D. P., Onopko A. D. Friction clutches and tracks of crawler machines. - M.: Machine-building, 1965, - 272 p.
 9. Inozemtsev V.G. Thermal calculations in the design and operation of brakes. - M. : Transport, 1966, -40 p.
 10. Pizhevich L. M. Calculation of friction brakes. - M.: Machine-building, 1984. -228 p.
 11. Alexandrov M.P. Investigation of the thermal regime of crane brakes. Dis doctor tech Sciences: M., 1953.
 12. Inozemtsev VG Brake of railway rolling stock. -M. : Transport, 1979. - 424_1 pp., Ill. tabl. - The bibliographer.: P. 422
 13. Romashko A. M. Research of disk block brakes of lifting-transport vehicles. Dis ... candidate techn. Sciences: M., 1979. - 254 pp.
 14. Lykov AV Theory of Thermal Conductivity. - M.: Higher. school, 1967. - 599 p.

Полупан Е.В., Шевченко С.И., Мирошникова М.В., Полупан Ю.В. Теоретические предпосылки для расчета объемной тепловой нагруженности дисковых тормозной устройств автомобилей.

В статье рассмотрены процессы переноса теплоты за счет теплопроводности при отсутствии внутренних источников тепла, когда температура системы изменяется не только от точки к точке, но и с течением времени. Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы тормозного устройства которое заключается в снижении тепловой нагруженности фрикционного узла, благодаря анализу и рассмотрению тепловых процессов, протекающих при работе дискового тормоза. Рассмотрены вопросы теоретического расчета изменения температурных полей по глубине накладки и контртела

дискового тормозного устройства автомобиля. Приведены теоретические выкладки по расчету тепловых полей фрикционных накладок дисковых тормозных устройств автомобилей в некоторых этапах работы тормоза в процессе останавочного или повторно-кратковременного торможения.

Ключевые слова: тормозное устройство, накладка, диск, температура.

Polupan E., Shevchenko S., Miroshnykova M., Polupan J. Theoretical background for calculation of body heat loading of drive brake devices of automobiles.

The article deals with the processes of heat transfer due to thermal conductivity in the absence of internal heat sources, when the temperature of the system changes not only from point to point, but also over time. The problems of increasing the efficiency of the braking device are considered, which consists in reducing the thermal loading of the friction unit, due to the analysis and consideration of the thermal processes that occur during the operation of the disc brake. The problems of theoretical calculation of the change in temperature fields for the depth of the lining and the counterbody of the disc braking device of a car are considered. Theoretical calculations on the calculation of the thermal fields of the friction linings of disc brake devices of cars of some stages of brake operation during the stopping or repeated short-time braking are given.

Keywords: braking device, lining, disc, temperature.

Полупан Є.В. - к.т.н., доц. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

Шевченко С.І. - к.т.н., доц. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

Мірошникова М. В. - асистент кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

Полупан Ю.В. - к.т.н., доц. кафедри «Програмування та математики» СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 13.03.2018