

12. Васильев Д.М. Рентгенографическое изучение эффекта поверхностного ослабленного слоя // Физика металлов и металловедение. – 1962. – Т. 14. – № 5. – С. 737–744. 13. Васильев Д.М. О микронапряжениях, возникающих в поликристаллических образцах при пластическом деформировании // ЖТФ, 1958. – Т.28. – № 11. – С.2527–2524. 14. Васильев Д.М. О микронапряжениях, возникающих в металлах при пластическом деформировании. ч.II // Физика твердого тела, 1959. – Т.1. – № 11. – С.1736–1746. 15. Васильев Д.М., Смирнов Б.И. Некоторые рентгенографические методы изучения пластического деформирования металлов // Успехи физических наук. 1961. – Т.73. – № 3. – С.503–558. 16. Ровинский Б.М. Исследование остаточных напряжений, возникающих в металлах при однородной пластической деформации. Ч.II. ЖТФ. – Т.21. – № 11. – С.1325–1335. 17. Breczko T. Odkstalcenia plastyczne polikrystalow. – Bialystok: Wyd-wa Politechniki Bialostockiej, 1989. – 131 s. 18. Новожилов В.В., Кадашевич Ю.И. Микронапряжения в конструкционных материалах. – Л.: Машиностроение, 1990. – 223 с. 19. Русинко К.Н. Теория пластичности и неустановившейся ползучести. – Львов: Вища школа, 1981. – 152 с. 20. Русинко К.Н. Особенности неупругой деформации твердых тел. – Львов: Вища школа, 1986. – 152 с. 21. Abeyaratne R., Kim S.-J. Cyclic effects in shape – memory alloy: a one-dimensional continuum model // Int. J. Solids and Struct. – 1997. – 34, No. 25. – P. 3273–3289. 22. Tanaka K., Nishimura F., Tobushi H., Oberaigner E.R. and Fischer F.D. Thermomechanical behavior of an Fe-based shape memory alloy: transformation conditions and hysteresis. – Proc. ICOMAT 95, J. Phys. IV. – 1995. – 5(8). – P.463–468. 23. Nishimura F., Tanaka K. Phenomenological analysis of thermomechanical training in an Fe-based shape memory alloy // Comput. Mater. Sci. – 1998. – No. 12. – P.26–38. 24. Nishimura F., Watanabe N., Tanaka K. Hysteretic behaviour in an Fe-based shape memory alloy under tensile/compressive cyclic thermomechanical loading // Mater. Sci. Res. Int. – 1997. – 3, No. 1. – P. 23–30. 25. Miyazaki S., Imai T., Igo Y., Otsyka K. Effect of cyclic deformation on the pseudoelasticity characteristics of TiNi alloys // Met. Trans. – 1986. – No.17a. – P. 115–120.

УДК 629.113-59.001.4

Г.С. Гудз, О.Р. Клипко, Я.І. Підгородецький*
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра автомобілебудування,
 *кафедра менеджменту і міжнародного підприємництва

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ТЕПЛОВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДИСКОВИХ ГАЛЬМ

© Гудз Г.С., Клипко О.Р., Підгородецький Я.І., 2005

Обґрунтовано техніко-економічну доцільність застосування тривимірних моделей для дослідження теплових процесів у дискових гальмах автотранспортних засобів.

Technical and economic feasibility of applying 3D models for studying thermal processes in vehicles' disk brakes is justified.

Зростання інтенсивності руху та поліпшення швидкісних властивостей автотранспортних засобів (АТЗ) загострюють проблему підвищення їх активної конструктивної безпеки, яка значною мірою залежить від теплового стану гальмових механізмів. Адже не випадково Правила 13 [1] вимагають перевірку ефективності гальмових механізмів АТЗ після проведення попередніх етапів випробувань I та II, тобто в нагрітому стані.

Температурні режими гальмових механізмів досліджувались у роботах В.К. Долі, Г.В. Макапетяна, А.Н. Пікушова, В.Я. Кушова, Є.Б. Решетнікова, Н.Л. Владімірова, А.М. Туренна, П.І. Яременка, О.Л. Коляси, Я.П. Яворського та інших дослідників різними методами.

Традиційним джерелом інформації про температурні поля елементів гальмових механізмів є експериментальні дослідження, проведення на натурних взірцях та фізичних моделях.

Незважаючи на те, що можливості термометрії останнім часом значно розширені і результати експериментів достатньо точні, фізичний експеримент і натурні дослідження часто не можуть дати вичерпної інформації про температурне поле з цілої низки причин. По-перше, кількість точок термометрування обмежено як розмірами термопар, так і конструктивними особливостями досліджуваних об'єктів.

По-друге, практично завжди існують зони в досліджуваних елементах, термометрування яких виключене, оскільки підхід до них затруднений або зовсім неможливий.

По-третє, збільшення числа термопар ускладнює і без того надзвичайно складний процес проведення експерименту, збільшуючи технологічні труднощі з монтажу термопар, виводу дротів, реєстрації сигналів, організації вимірювальної схеми. Якщо до цього додати трудомісткість та високу вартість експерименту, то стане очевидним, що фізичне моделювання і натурні випробування не завжди є кращим способом досліджень. Точні аналітичні методи розв'язування задач теорії поля хоч і дуже зручні (вони дозволяють робити необхідні узагальнення і виявляти функціональні залежності температури від різноманітних чинників), тим не менше не знайшли широкого застосування в автомобілебудуванні, оскільки сьогодні можливості цих методів дуже обмежені. Навіть для достатньо простих задач отримати розв'язок в явному вигляді дуже складно, іноді – неможливо, не кажучи вже про тривимірні нелінійні задачі теплопровідності, до яких в основному зводяться дослідження теплового стану гальмових механізмів.

З розвитком цифрової обчислювальної техніки, інформаційна продуктивність якої за останні 10 років зросла в тисячі разів, найбільш ефективними методами розв'язування задач теплопровідності стали числові методи. До цих методів належать метод скінченних елементів (МСЕ) та метод кінцевих різниць (МКР).

Обидва методи належать до класу сіткових методів наближеного розв'язання крайових задач. З точки зору теоретичних оцінок точності методи мають однакові можливості. Залежно від форми області, крайових умов, коефіцієнтів початкового рівняння тощо обидва методи мають похибки апроксимації від першого до четвертого порядку відносно кроку. Тому вони успішно використовуються для розроблення програмних комплексів автоматизованого проектування технічних об'єктів.

Про застосування МСЕ для досліджень температурних режимів барабанних гальм йдеться в роботах [2, 3], а МКР – для дискових гальм – в працях [4, 5], де розглядають двовимірні моделі.

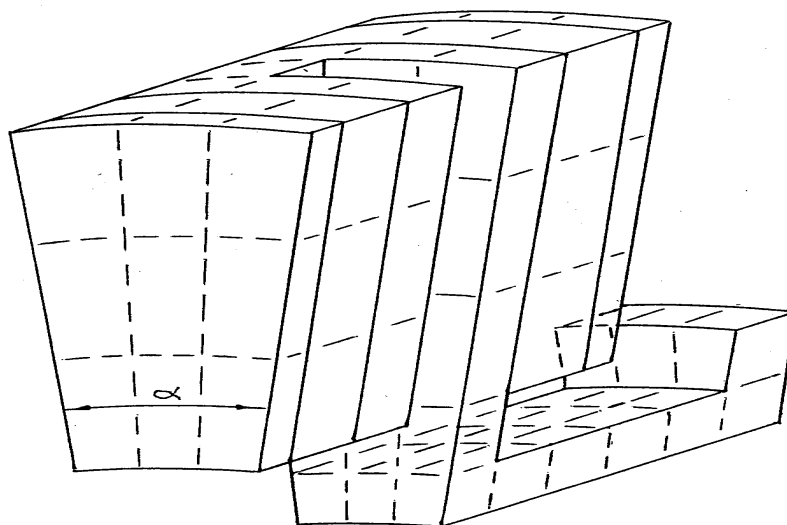


Рис. 1. Сектор просторової сітки тривимірної моделі дискового гальма з вентиляційним диском

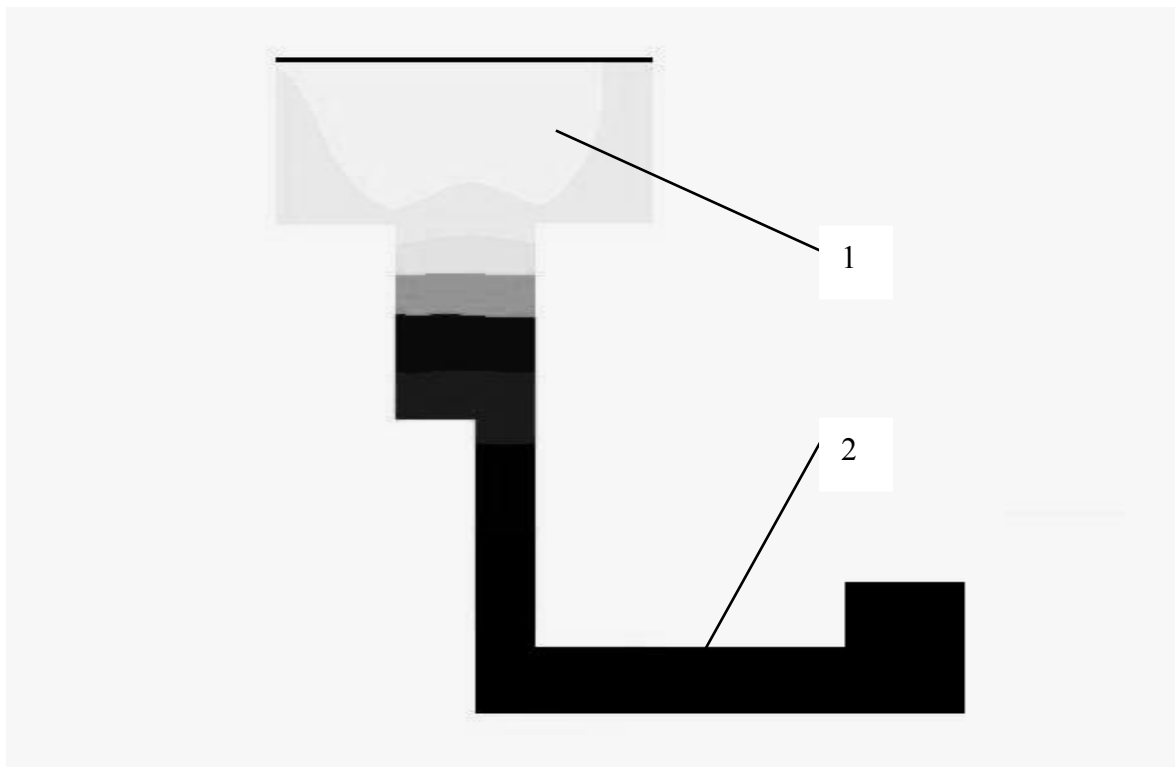


Рис.2. Температурні поля дискового гальма з металокерамічними накладками під час проведення попереднього етапу випробувань II (1 – сектор "колодка-накладка-диск"; 2 – фланець диска)

Значним кроком вперед є розроблення тривимірних моделей дискових гальм, методику побудови яких описано в роботі [6]. Перевагою цих моделей є можливість одночасного дослідження температурних полів в диску, накладці, колодці гальмового механізму. На рис.1 наведено сектор моделі гальма, а на рис. 2 – температурне поле дискового гальма.

Треба зауважити, що чим яскравіша гама кольорів, тим більшої температури досягнуто. З цього ж рисунка видно, що фланець диска практично холодний (темний фон).

Неважко собі уявити, що шляхом зміни конструктивних, режимних та теплофізичних параметрів показаних вище моделей гальм можна оцінити їх температурні поля, скоротивши обсяг натурних експериментів.

Порівняємо шість експериментальних варіантів дискових гальмових механізмів з двома різними типами накладок, встановлених на передню вісь автобуса ЛиАЗ–5256Е, які відрізняються як за конструкцією, так і за значенням коефіцієнта розподілу сумарної гальмівної сили β_g для гальмівної системи і організацією повітряних потоків (значенням коефіцієнта тепловіддачі α). У цьому випадку, з врахуванням отриманої заданої точності $\varepsilon = 15\%$ [7] за раціональних довжин ділянок шосе та пробних заїздів, пробіг автобуса повинен становити 2800–3000 км.

Досвід показує, що підготовчі роботи встановлення та регулювання апаратури, а також сам процес випробувань триває близько 3 місяців. Опрацювання отриманих результатів та їх аналіз займають не менше року. Витрати на випробування, розраховані, виходячи з цих термінів, наведено у табл. 1.

З економічної точки зору перевагою моделювання є велика швидкість створення моделі та перебігу процесу за заданої точності визначення температурного поля гальмового механізму (рис. 2), яку отримати в експериментальних умовах неможливо. З огляду на це весь комплекс робіт з дослідження та порівняння вказаних варіантів гальмових механізмів може бути виконаний, як показав нагромаджений авторами досвід, протягом одного місяця. При цьому витрати різко зменшуються.

Витрати на випробування

Категорія затрат	Сума, грн.
1. Амортизація автобуса ЛиАЗ–5256Е	11250
2. Амортизація апаратури	5350
3. Технічне обслуговування і ремонт автобуса	460
4. Паливо і мастильні матеріали	2118
5. Відновлення і ремонт шин	400
6. Заробітна платня с нарахуваннями:	
– механіка-водія	1980
– інженера-випробувача	2574
– лаборанта	1782
7. Інші експлуатаційні витрати	1650
8. Виготовлення експериментальних гальмівних механізмів	187000
9. Опрацювання результатів	2772
Разом	217336

Таблиця 2

Витрати на моделювання

Категорія затрат	Сума, грн.
1. Амортизація комп'ютера	828
2. Заробітна платня:	
– інженера-програміста	2460
– інженера-дослідника	1320
Разом	4788

Економічний ефект становить 212,5 тис. грн.

Висновок. Використання тривимірних моделей дає змогу оперативно і достовірно досліджувати температурні поля в гальмових механізмах, економлячи кошти на високовартісні експерименти, що має велике значення для концептуального проектування гальмових механізмів АТЗ.

1. *Едиобразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении торможения (Правила №13 ЕЭК ООН).* – Женева, 1998. – 261 с. 2. *Балан С.О., Гончарова О.Є., Становська Т.П. Моделювання теплового режиму гальмових систем // Зб. наук.пр.асоціації "Автобус". Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів.* – Львів, 2000. – Вип.4. – С.18–21. 3. *Дем'янюк В.А. Дослідження розподілу температур у барабанному гальмовому механізмі з використанням методу скінченних елементів // Вісник Державного університету "Львівська політехніка", 1997. – №323. – С.82–86.* 4. *Коляса О.Л. Обґрунтування теплової моделі дискових гальмових механізмів автомобільних коліс: Дис...канд.техн.наук.* – Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2002. – 121 с. 5. *Яворський Я.П. Вдосконалення методу теплового розрахунку автомобільних дискових гальм при тривалих гальмуваннях на основі комп'ютерного моделювання: Дис. канд. техн. наук.* – Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2004. – 148 с. 6. *Гудз Г.С., Остапчук Н.М., Таракон А.Г. Методика комп'ютерного моделювання трьохмерних температурних полів в дискових тормозах // Зб.наук.пр. ІПМЕ НАНУ ім. Г.Є. Пухова.* – К.: 2002. – Вип.16. – С.95–99. 7. *Гольд Г.Б. Прочность и долговечность автомобиля.* – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.