

УДК 629.113-592.001.57/004-15

ТЕХНИКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ І ДИСКОВИХ ГАЛЬМ З УРАХУВАННЯМ СИСТЕМОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ

Г.С. Гудз, професор, д.т.н., І.Я. Захара, інженер,
Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Розглянуто техніко-економічну доцільність системологічного підходу до дослідження температурних режимів вентилюваних та невентилюваних дискових гальм автобусів на типових режимах випробувань.

Ключові слова: вентилювані та невентилювані дискові гальма, автотранспортний засіб, випробування I, теплова модель, економічна ефективність.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ И ДИСКОВЫХ ТОРМОЗОВ С УЧЕТОМ СИСТЕМОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Г.С. Гудз, профессор, д.т.н., И.Я. Захара, инженер,
Национальный университет «Львовская политехника»

Аннотация. Рассмотрена технико-экономическая целесообразность системологического подхода к исследованию температурных режимов вентилируемых и невентилируемых дисковых тормозов автобусов на типовых режимах испытаний.

Ключевые слова: вентилируемые и невентилируемые дисковые тормоза, автотранспортное средство, испытания I, тепловая модель, экономическая эффективность.

TECHNICAL-ECONOMICAL EVALUATION OF THE TEST I RESULTS OF DISC BRAKES BASED ON SYSTEMOLOGICAL APPROACH

G. Gudz, Professor, Doctor of Technical Science, I. Zahara, engineer,
National University «Lviv Politechnica»

Abstract. The technical and economic feasibility of the systemological approach to the study of temperature regimes of ventilated and non-ventilated disc brakes of buses under the standard test conditions is considered.

Key words: ventilated and non-ventilated disc brakes, vehicle, test I, a thermal model, economic efficiency.

Вступ

На сьогодні у науці про машини є поширеним системологічний підхід, суть якого полягає у комплексному розгляді всієї різноманітності зовнішніх і внутрішніх зв'язків та цілеспрямованого функціонування систем. Тому для керування температурним режи-

мом гальмівного механізму автотранспортного засобу (АТЗ) конструктору необхідно володіти методом, що дозволяє дослідити вплив різних чинників на тепловий стан гальма на типових режимах випробувань [1] з мінімізацією витрат на їх проведення, і тим самим забезпечити достатню стабільність коефіцієнта ефективності.

Мета та постановка задачі

У вивченні теплового стану складних підсистем, до яких відносять гальмівні механізми, формулювання простих законів теплопереносу поки що неможливе і замінюється побудовою ескізних моделей. Це не означає, що нехтують категорією закону, а додатково до відомих теоретичних і традиційних експериментальних досліджень на сучасному етапі залучають математичне моделювання. Відбувається заміна закону моделлю та з'являється новий вид експерименту (машинний експеримент), який дозволяє розглянути безліч варіантів різних моделей на ПК із подальшим порівнянням результатів досліджень з реальним експериментом [2].

До недавнього часу дослідження температурних режимів гальмівних механізмів проводили методами однофакторного або послідовного експериментів. Результати таких досліджень представляють низкою номограм, на підставі яких виводять критеріальні залежності, за якими неможливо визначити числові значення температур при новому поєднанні чинників, що їх визначають [3, 4, 5]. Тому актуальним стає завдання створення ефективних методів досліджень на основі теорії подібності, моделювання та планування експерименту, оскільки ці методи дозволяють розв'язати ряд принципів задачі, які звичайними класичними (методами однієї з теорій) не можна розв'язати, а тим самим є економічно неефективними.

Аналіз публікацій

Температурні режими дискових гальмівних механізмів досліджувались у роботах Н.Л. Владімірова, В.Я. Кушова, А.М. Туренка [6, 7, 8] та інших вчених різними методами. Проте в них немає кількісного порівняння температурних режимів вентильованих та невентильованих дискових гальм, а тим більше системологічного та техніко-економічного підходів до об'єктів дослідження.

Принципи системологічного підходу

До найбільш напрацьованих та ефективних методів реалізації системологічного підходу слід віднести математичну теорію експерименту або планування експерименту, що представляють собою розвиток ідей багаточинникового аналізу. Дослідження багаточинникових процесів, що стосуються темпе-

ратурних режимів дискових гальм на типових випробуваннях, математично формуються таким чином:

$$T = f(Q, h, \alpha),$$

де T – температури елементів гальма; Q – густина теплового потоку; h – товщина диска; α – коефіцієнт тепловіддачі.

При проведенні багаточинникового числового експерименту в процесах теплопереносу в гальмівних механізмах незамінними стають методи математичного моделювання. Моделювання попереднього етапу випробувань I передбачає необхідність роз'єднання пар тертя дискового гальма (рис. 1) після кожного з 20 циклів гальмувань АТЗ категорії М3.

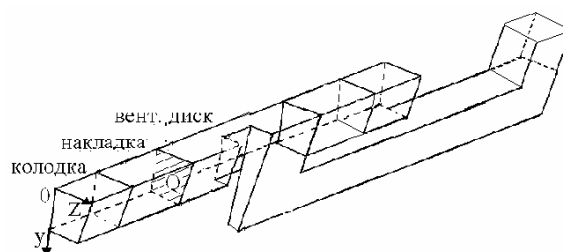


Рис. 1. Сектор просторової сітки тривимірної моделі гальма з вентильованими дисками

Визначення температурних полів у дискових гальмах на випробуваннях I полягає в розв'язку диференціального рівняння теплопровідності за відповідних крайових умов як при нагріванні гальма під час гальмування, так і при охолодженні пар тертя під час їх роз'єднання [2].

Розв'язок згаданих вище рівнянь на сіткових моделях гальма проводився за допомогою розрахункового модуля [9], який дозволяє розв'язувати двовимірні та тривимірні задачі теплопереносу в діалоговому режимі й отримувати результати у зручному та наочному для використання вигляді.

Моделювання попереднього етапу I полягає в його здійсненні на трьох моделях: моделі нагрівання гальма у зборі, моделі остигання металокерамічних гальмових накладок у зборі з колодками та моделі остигання диска.

Для прикладу представлено файл нагрівання гальмівного механізму, який має конфігурацію, наведену на рис. 2, а методику комп'ютерного моделювання процесів нагрівання та охолодження гальма описано в роботі [10].

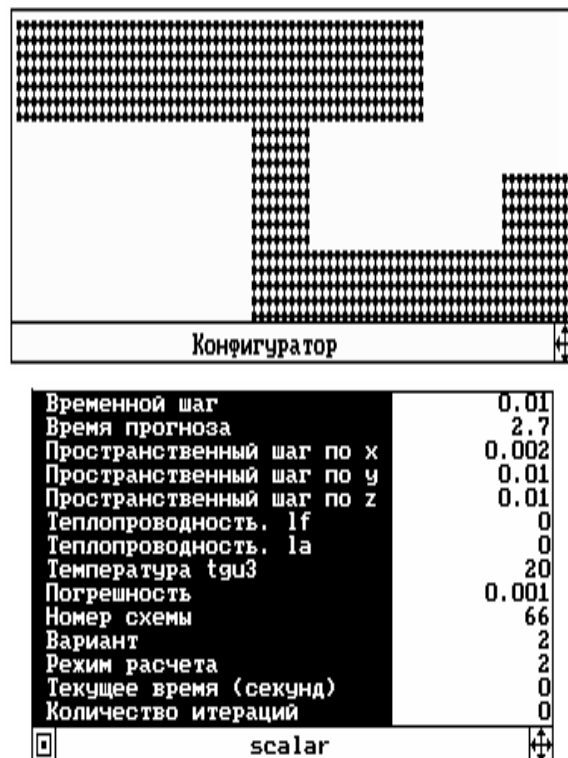


Рис. 2. Конфігурація файла нагрівання гальма

Експериментальні дослідження

Достовірні дані про параметри, що характеризують режим роботи та енергонавантаженисть гальм на випробуваннях I, можна отримати на підставі статистичного аналізу часткових сукупностей.

Однак при цьому важливо правильно підійти до вибору кількості та обсягу цих сукупностей. У нашому випадку під обсягом і кількістю часткових сукупностей слід розуміти довжину маршруту і кількість експериментів (заїздів) на кожному з них.

В наш час розроблено методику вибору кількості експериментів для випадку, коли розподіл значень параметрів є близьким до нормального.

Суть цього методу полягає в тому, що на вибраному типі випробувань проводиться серія пробних експериментів з визначення параметрів, що характеризують роботу гальм (x_i). Визначаються основні статистичні характеристики: середнє значення (математичне сподівання) $\bar{x}$, дисперсія σ_x^2 і середньоквадратичне відхилення σ_x . За допомогою критерію Пірсона оцінюються відповідність емпіричного закону розподілу нормальному.

Якщо розподіл є близьким до нормального, то, задаючись точністю дослідження ϵ_x (близько 15 %) та рівнем довірчої ймовірності P_t (0,85–0,95), підраховується допустима гранична похибка вибірки

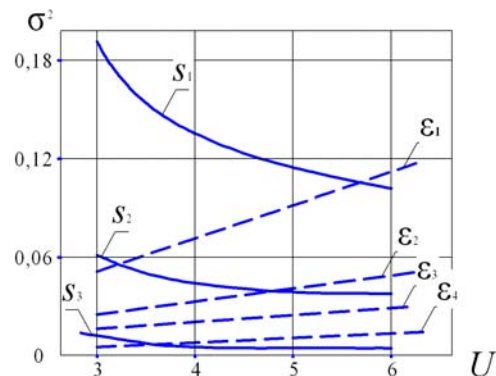
$$\epsilon = \frac{X}{100} \cdot \epsilon_x.$$

Далі визначається дисперсія для різних кількостей експериментів (заїздів) за формулою:

$$\sigma^2 = \frac{U \cdot \epsilon_x^2}{t^2},$$

де t – функція довірчої ймовірності, значення якої вибирається за прийнятою ймовірністю довіри (якщо $P_t = 0,85$ – $t = 1,04$; $P_t = 0,95$ – $t = 1,64$); U – кількість експериментів.

За отриманими значеннями дисперсії будують графіки $\sigma^2(U)$, які представляють собою прямі лінії (рис. 3). Точки перетину експериментальних та теоретичних залежностей $\sigma^2(U)$ визначають мінімально необхідну кількість експериментів для отримання даної точності за даним рівнем імовірності.

Рис. 3. Графічний спосіб вибору кількості експериментів, що забезпечують отримання стійких значень статистик: s_1, s_2, s_3 – довжини маршрутів при випробуваннях

Якщо розподіл показників, прийнятих для оцінки режиму роботи та енергонавантаженисті гальм, суттєво відрізняється від нормального, то прийняти описаний вище метод визначення кількості експериментів неможливо.

М.А. Бухарін та І.Б. Снитін [11] вважають, що судити про достатність обсягу вибірки можна за стійкістю середнього арифметичного значення параметра, який вивчається,

і характеристик розсіювання. Цей метод полягає в тому, що у процесі нагромадження обсягу статистичного матеріалу настає такий момент, коли подальше збільшення даних не призводить до суттєвого уточнення X та σ (див. рис. 3).

Відповідно до цього на кожному попередньому етапі випробувань І проводилось декілька заїздів і оцінювалась та кількість заїздів, яка необхідна для отримання даної точності у випадку нормального розподілу або після якого подальше нагромадження інформації не призводило до суттєвої зміни статистик, якщо розподіл відрізнявся від нормального.

Попереднє випробування показало, що емпіричний розподіл показників, прийнятих для оцінки режиму роботи гальм, суттєво відрізняється від нормального і є близьким до розподілу Шарльє. Тому вибір кількості експериментів (U) проводився з таким розрахунком, щоб забезпечувалось отримання стійких значень статистик.

Звичайно стійке значення статистик було отримано при $U = 3$, однак у більшості випадків для підвищення достовірності результатів було прийнято $U = 5$.

Значення всіх параметрів визначались опрацюванням осцилограм, отриманих за допомогою вимірювального комплексу, створеного у співдружності з ДП НДІ «Система» (м. Львів). Його побудовано за модульним принципом, у якому всі вимірювальні модулі розміщені на крос-платі.

Комплекс включає персональний комп'ютер типу «note-book», аналоговий перетворювач інформації, USB осцилограф Autoscope II, модулі вимірювання тиску повітря, температур гальм, гальмівного моменту, пройденого шляху та швидкості руху автобуса [12].

Економічна ефективність

Досліджувались вентильовані гальмівні механізми автобуса А-172 на реальних режимах випробувань І. Для порівняння було створено ще три сіткові моделі гальмівних механізмів (один з них – невентильований з номінальною товщиною диска та 2 варіанти – більшої товщини (вентильований та невентильований)). Розглядались 4 варіанти експлуатаційних показників (відповідно за двома значеннями коефіцієнта розподілу питомої гальмів-

ної сили та коефіцієнта тепловіддачі). У цьому випадку, з урахуванням нульових пробігів та пробних заїздів, кількість яких визначено з умови необхідної точності експерименту (див. вище), пробіг автобуса повинен складати 1200–1500 км.

Досвід засвідчує, що підготовчі роботи з розроблення, монтажу та регулювання вимірювального комплексу займають близько шести місяців. Опрацювання ж результатів експериментальних досліджень та їх аналіз тривають не менше року.

У свою чергу, комп'ютерне моделювання теплового стану автомобільних гальм скорочує весь комплекс робіт з дослідження та порівняння чотирьох варіантів гальмівних механізмів, як показав набутий досвід, до одного місяця. При цьому забезпечується висока інформаційна продуктивність, достатня точність визначення температурного поля гальмівного механізму, що отримати при дорожніх випробуваннях неможливо. Програмне забезпечення для проведення дослідження є стандартним і відносно недорогим.

Для обґрунтування техніко-економічної доцільності комп'ютерного моделювання теплового стану автомобільних гальм як бази для порівняння при визначенні економічної ефективності НДР було прийнято наступні показники: 1) продуктивність методу дослідження; 2) капітальні вкладення; 3) питомі експлуатаційні показники.

Економічний ефект (E) від впровадження нового методу дослідження можна розрахувати за формулою [13]

$$E = (M_1 \cdot C_{n1} - M_2 \cdot C_{n2}) - E_n(K_2 - K_1),$$

де M_1 , M_2 – терміни проведення досліджень (відповідно експериментальним методом та комп'ютерним моделюванням); C_{n1} , C_{n2} – питомі експлуатаційні витрати (відповідно експериментальним методом та комп'ютерним моделюванням); K_2 , K_1 – капітальні вкладення (відповідно для комп'ютерного моделювання та експериментального методу); E_n – коефіцієнт економічної ефективності.

До питомих витрат при експериментальному дослідженні віднесено амортизаційні витрати автобуса А-172, його технічне обслуговування, паливо і мастильні матеріали, заробітну плату з нарахуваннями для сплати єдиного

соціального внеску учасників експерименту, виготовлення експериментальних дисків та їх монтаж тощо (табл. 1).

Таблиця 1 Витрати при експериментальному методі ($C_{п1}$) [10]

№ з. п.	Елементи витрат	Сума, грн.	Обґрунтування
1.	Амортизація автобуса А-172	69,4	Податковий метод нарахування амортизації
2.	Технічне обслуговування і ремонт автобуса	19,8	Прямим розрахунком
3.	Паливо та мастильні матеріали	22,5	Прямим розрахунком
4.	Відновлення та ремонт шин	1,05	Прямим розрахунком
5.	Зарплата з нарахуваннями	62,5	Прямим розрахунком
6.	Накладні витрати Разом	25,0 200,25	40 % від п. 5
7.	Виготовлення експериментальних дисків та їх монтаж (K_1)	4200	Прямим розрахунком

До таких показників при комп'ютерному моделюванні віднесено вартість програмного забезпечення, амортизацію апаратури, заробітну плату з нарахуваннями для сплати єдиного соціального внеску учасників досліджень тощо (табл. 2).

Таблиця 2 Витрати при комп'ютерному моделюванні ($C_{п2}$) [10]

№ з. п.	Елементи витрат	Сума, грн.	Обґрунтування
1.	Амортизація апаратури	4,89	Податковий метод нарахування амортизації
2.	Технічне обслуговування і ремонт апаратури	1,98	Прямим розрахунком
3.	Зарплата з нарахуваннями	48,4	Прямим розрахунком
4.	Накладні витрати Разом	22,1 77,37	40 % від п. 3
5.	Вартість програмного забезпечення (K_2)	4780	Прямим розрахунком

З економічної точки зору, перевагою моделювання є швидкість створення моделі, велика інформаційна продуктивність комп'ютера

та достатня точність визначення температурного поля гальмівного механізму [10], що отримати при дорожніх випробуваннях неможливо.

З огляду на це весь комплекс робіт з дослідження та порівняння чотирьох варіантів гальмівних механізмів виконати, як показав нагромаджений авторами досвід, протягом одного місяця. При цьому витрати різко скорочуються (табл. 2).

Економічний ефект від впровадження нового методу дослідження складає:

$$E = (180 \cdot 200,25 - 30 \cdot 77,37) - 0,2(4780 - 4200) = 33607,9 \text{ (грн.)}$$

Висновок

Для перевірки достовірності результатів моделювання проводились дорожні випробування І автобуса А-172, обладнаного вентильованими дисковими гальмами.

Порівняння результатів показало добру збіжність, що підтверджує правильність вибору математичної моделі задачі. Крім цього, запропонований метод дозволяє ефективно варіювати декілька чинників, які в експериментальних умовах змінювати важко. Це дозволяє здійснити порівняльну системологічну оцінку температурних режимів вентильованих та невентильованих дискових гальм АТЗ на типових режимах випробувань за мінімальних витрат.

Література

1. ДЕСТУ UN/ECER 13-09-2002. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій М, N, O стосовно гальмування. (Правила ЄЕКООН № 13.09:2002, ІДТ). – 196 с.
2. Гудз Г.С. Тепловий розрахунок автомобільних дискових гальм на типових режимах випробувань : монографія / Г.С. Гудз. – Львів : Ліга-Прес, 2007. – 128 с.
3. Максапетян Г.В. Надежность тормозных механизмов автомобилей / Г.В. Максапетян. – Ереван, 1965. – 139 с.
4. Пикушов А.Н. Режимы работы колесного тормоза автомобиля-лесовоза / А.Н. Пикушов // Автомобильная промышленность. – 1967. – № 11. – С. 8–11.

5. Коренчук Н.Ф. Тепловой расчет тормоза по критериальному уравнению / Н.Ф. Коренчук // Автомобильная промышленность. – 1970. – № 11. – С. 17–19.
 6. Владимиров Н.Л. Повышение эффективности дискового тормоза снижением его термонагруженности : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.05.20 «Эксплуатация и ремонт транспорта» / Н.А. Владимиров. – М. : Московский автотомоторный институт, 1987. – 19 с.
 7. Кутов В.Я. Исследование теплового баланса дискового тормоза : дисс. ... канд. техн. наук : спец. 05.05.20 / В.Я. Кутов. – Харьков : ХАДИ, 1980. – 103 с.
 8. Туренко А.Н. Повышение эффективности торможения автотранспортных средств с пневматическим приводом / А.Н. Туренко. – Харьков : ХГАДТУ, 2000. – 472 с.
 9. Гудз Г.С. Расчетный модуль для исследования температурных полей в дисковых тормозах автотранспортных средств / Г.С. Гудз, О.Л. Коляса, А.Г. Тарапон // Моделивання та інформаційні технології : зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці НАНУ. – К. – 2001. – Вип. 8. – С. 45–50.
 10. Гудз Г.С. Новый підхід до моделювання теплових процесів у вентильованих дискових гальмах при циклічних гальмуваннях / Г.С. Гудз, І.Я. Захара, О.Г. Тарапон // Моделивання та інформаційні технології : зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці НАНУ. – 2009. – Вип. 51. – С. 137–142.
 11. Бухарин Н.А. Методика статистической оценки нагруженности агрегатов трансмиссий автомобилей при лабораторно-дорожных и экспериментальных испытаниях / Н.А. Бухарин, М.Е. Снытин // Труды НАМИ. – М. : Машгиз, 1962. – Вип. 45. – С. 47–56.
 12. Гудз Г.С. Вимірювальний комплекс для гальмівних властивостей автобусів / Г.С. Гудз, О.Р. Клипко, Я.І. Захара // тези доповідей 64-ї наук.-пр. конф. у Нац. транспортному ун-ті. – К. : 2008. – С. 427.
 13. Петрович Й.М. Економіка підприємства : підручник / Й.М. Петрович. – Львів : Новий світ, 2004. – 680 с.
 14. Цал-Цалко Ю.С. Витрати підприємства : навч. посібник / Ю.С. Цал-Цалко. – К. : ЦУЛ, 2002. – 658 с.
- Рецензент: В.І. Клименко, професор, к. т. н., ХНАДУ.
- Стаття надійшла до редакції 26 травня 2011 р.
-