

УДК 629.113-59.001.4

ПОРІВНЯЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ДИСКОВИХ ГАЛЬМ АВТОБУСІВ НА ТИПОВИХ ВИПРОБУВАННЯХ

Г.С. Гудз, професор, д.т.н., І.Я. Захара, інженер, О.Р. Клипко, інженер,
М.М. Осташук, доцент, к.т.н.,
Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Описано створений вимірний комплекс гальмівних властивостей та порівняльні результати експериментальних досліджень температурних режимів вентильованих дискових гальм автобусів на випробуваннях I та II.

Ключові слова: вимірний комплекс, вентильовані дискові гальма, енергонавантаженисть, енергоємність, температурні режими, випробування I та II.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ДИСКОВЫХ ТОРМОЗОВ АВТОБУСОВ НА ТИПОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Г.С. Гудз, профессор, д.т.н., И.Я. Захара, инженер, О.Р. Клипко, инженер,
М.М. Осташук, доцент, к.т.н.,
Национальный университет «Львовская политехника»

Аннотация. Описаны созданный измерительный комплекс тормозных свойств и сравнительные результаты экспериментальных исследований температурных режимов вентилируемых дисковых тормозов автобусов при испытаниях I и II.

Ключевые слова: измерительный комплекс, вентилируемые дисковые тормоза, энергонагруженность, энергоемкость, температурные режимы, испытания I и II.

COMPARATIVE EXPERIMENTAL RESEARCHES OF TEMPERATURE MODES OF VENTILATED BUS DISK BRAKES AT TYPICAL TESTS

G. Gudz, Professor, Doctor of Technical Science, I. Zakhara, engineer, O. Klypko, engineer, M. Ostashuk, Associate Professor, Candidate of Technical Science,
National University «Lvivskaya Politechnika»

Abstract. The measuring complex of stopping properties and comparative results of experimental researches of temperature modes of ventilated bus disk brakes under trials I and II are described.

Key words: measuring system, ventilated disc brakes, energy intensity, energy, consumption, temperature modes, trials I and II.

Вступ

Відомо, що активна безпека автотранспортних засобів (АТЗ) значною мірою залежить від температурних режимів роботи гальмових механізмів. З огляду на це застосування математичного моделювання, яке уточнює та поглиблює уявлення про дані режими, є виправданим [1]. Але суттєвим

обмеженням математичного моделювання є те, що вірогідність розрахункових результатів залежить від повноти і точності початкових даних та прийнятих припущень. Тому про адекватність теплової моделі вентильованих дискових гальм, які застосовуються в сучасних автобусах, можна судити тільки за результатами дорожніх випробувань, які рег

ламентовано Міжнародними правилами перевірки ефективності гальм [2].

Аналіз публікацій

Позитивний вплив застосування вентиляованих дискових гальм АТЗ на їх тепловий стан відзначено в роботах М.П. Александрова, А.Б. Гредескула, І.С. Оржевського та інших вчених, але він не підтверджений кількісними показниками для сучасних фрикційних матеріалів та методик випробувань гальм типу I та II на ефективність дії.

Мета дослідження

Провести порівняльні експериментальні дослідження температурних режимів вентиляованих дискових гальм автобуса на випробуваннях I та II для оцінки їх умов тепловіддачі.

Постановка задачі

Від енергоємності гальма залежить величина температури поверхонь тертя під час основних етапів випробувань I та II, від якої, у свою чергу, залежить зміна коефіцієнта тертя, а тому й ефективність гальмування. Випробування I та II відзначаються попередніми етапами. Для категорії автотранспортного засобу M_3 – це 20 циклів гальмувань зі швидкості руху $V_1 = 60$ км/год до $V_2 = 30$ км/год – розгін до V_1 з періодом 60 с, а випробування II – гальмування на шести-процентному спуску довжиною 6 км з постійною швидкістю $V = 30$ км/год. При цьому енергії, які поглинаються гальмами на відповідних етапах випробувань I (E_1) та II (E_2), становлять

$$E_1 = 20 \cdot G_a \cdot (V_1^2 - V_2^2) / (2 \cdot 3,6^2) = 2083 \cdot G_a, \text{ Дж}; \quad (1)$$

$$E_2 = G_a \cdot C_g \cdot S[i - (f + \gamma'_\tau)] = 2354 \cdot G_a, \text{ Дж}; \quad (2)$$

де G_a – маса АТЗ, кг; V , V_1 , V_2 – регламентовані швидкості, км/год; g – прискорення земного тяжіння, м/с²; i – величина ухилу дороги ($i = 0,06$); S – довжина спуску, м; f – коефіцієнт опору коченню; γ'_τ – питома гальмівна сила, створювана гальмом-сповільнювачем ($f + \gamma'_\tau = 0,02$).

Залежності (1) та (2) характеризують загальну енергонавантаженість гальм, з яких вид-

но, що випробування II є більш навантаженими, але не враховують тепловіддачі гальм як при циклічних, так і тривалих гальмуваннях. Тому необхідні більш глибокі дослідження процесів теплопереносу на даних типах випробувань. Для цього було створено вимірювальний комплекс, який дозволив би одночасно реєструвати такі параметри: 1) зміну швидкості руху АТЗ у часі; 2) пройдений шлях; 3) загальний час руху та час проходження окремих ділянок маршруту; 4) гальмівні моменти, створені кожним гальмовим механізмом; 5) температури поверхонь тертя фрикційних накладок; 6) тиск повітря в силових пневмоапаратах.

Результати досліджень

Враховуючи задачі випробувань, можна виділити два характерні режими руху випробовуваного АТЗ – у тяговому режимі та при гальмуванні. Оскільки частина параметрів має реєструватись безперервно протягом тривалого часу, а частина – тільки при гальмуванні, то вимірювальний комплекс, окрім звичних вимог, має відповідати таким можливостям: 1) тривалої безперервної роботи апаратури без перегріву та порушення тарувальних даних; 2) одночасної реєстрації необхідної кількості параметрів під час випробувань; 3) періодично контролювати під час випробувань стабільність характеристик датчиків та реєструючого приладу фіксацією контрольних точок тарувальних графіків.

Відповідно до переліку параметрів, які повинні реєструватись, авторами, за сприяння НДІ «Система» (м. Львів), було створено вимірювальний комплекс гальмівних властивостей автобуса А-172. Його побудовано за модульним принципом, де всі вимірювальні модулі розміщені на кросс-платі з допомогою контактних роз'ємів.

Комплекс включає: 1) персональний комп'ютер типу «note-book»; 2) аналоговий перетворювач інформації «MikroScan» OS.04-101; 3) модуль вимірювання тиску повітря; 4) модуль вимірювання температур гальм; 5) модуль вимірювання гальмівного моменту; 6) модуль вимірювання пройденого шляху та швидкості.

Функціональна схема вимірювального комплексу наведена на рис. 1.

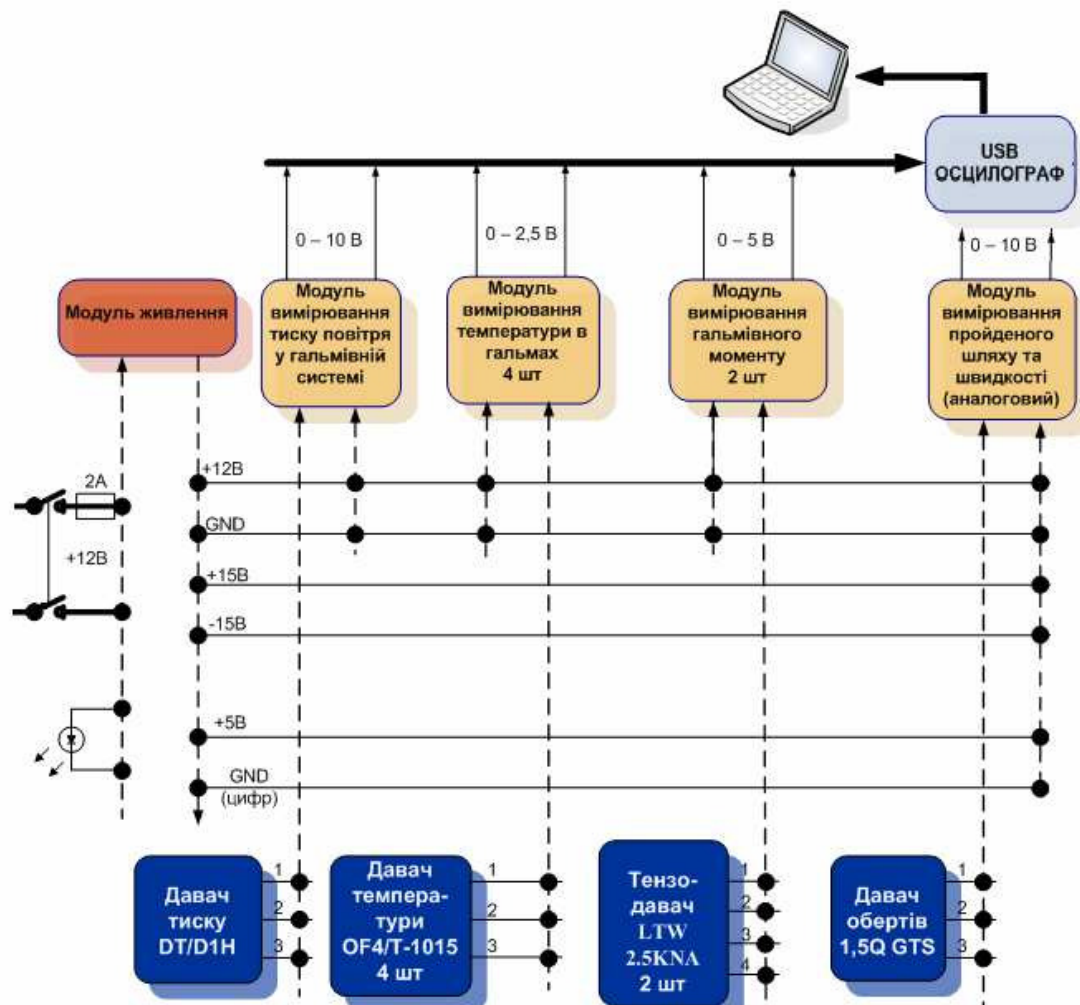


Рис. 1. Функціональна схема вимірювального комплексу

Модуль вимірювання тиску повітря призначений для фіксації (контролю) тиску повітря в гальмівній системі, який може змінюватися в діапазоні 0–1030 кПа. Для цього застосовано датчик тиску типу DT/D-ІН фірми FuehlerSysteme.

Характеристики датчика: 1) діапазон відносного вимірюваного тиску 0–16 Бар, (0–1600) кПа; 2) лінійність $\pm 0,5\%$; 3) похибка $\pm 2\%$; 4) вихідний сигнал 4–20 мА; 5) живлення +12 В.

Уніфікований сигнал 4–20 мА з виходу датчика тиску поступає на вхід інструментального підсилювача U15 (типу LT1101), ввімкненого за схемою перетворення струм/напруга з фіксованим коефіцієнтом передачі (4–20 мА/ 0–10 В), який буферизується повторювачем напруги U13 (типу LTC1152).

Загальна похибка вимірювання тиску складає $\pm 2\%$. Важливою характеристикою схеми вимірювання тиску повітря в гальмівній системі є швидкодія (час встановлення вихідного сигналу не більше 1 мс).

У модулі вимірювання температури гальмових колодок, яка в режимі гальмування може досягати 400 °С, датчикам температури слугував платиновий терморезистор типу OF4/E-10/5 фірми FuehlerSysteme з діапазоном вимірювання від -40 до +500 °С.

Номінальна статична характеристика датчика температури відповідає типу Pt100, температурний коефіцієнт опору якого становить 3850 ppm/°С (значення опору за температури 0 °С – 100 Ом, а при 100 °С – 138,50 Ом). Цей датчик передбачає можливість кріплення на об'єкті вимірювання з допомогою постійного магніту із зусиллям 90 Н.

Перетворювач «температура – напруга» реалізований за мостовою схемою на основі інструментального підсилювача U11 (типу LT1101) з коефіцієнтом підсилення 100 разів. Вихідний сигнал 0–2,5 В відповідає зміні температури 0–250 °С; похибка вимірювання температури становить ± 1 °С (обмежена температурними характеристиками елементів мостової схеми).

У модулі вимірювання гальмівного моменту застосовано датчик з контактними кільцями типу LTW 2.5KNA з такими основними характеристиками: 1) діапазон крутного моменту – від 0 до 2,5 кН·м; 2) нелінійність – 0,3 %; 3) гістерезис – 0,3 %; 4) номінальний вихідний сигнал – 1 мВ/В; 5) допустиме перевантаження – 150 %.

Схему встановлення датчика наведено на рис. 2. У схемі модуля вимірювання гальмівного моменту застосовано прецизійні резистори типу C5-61 з температурним коефіцієнтом опору, не більшим за 10 ppm/°С. Разом з інструментальним підсилювачем, похибка якого становить 0,06 %, за підсилення у 100 разів, схема дозволяє перетворювати вхідний сигнал вимірювального тензомоста у вихідну напругу з точністю 0,06 %, що значно менше похибки датчика. Загальна похибка вимірювання гальмівного моменту на колесі складає $\pm 0,4$ %. Детальніший опис даного модуля наведено у роботі [4].

Модуль живлення вимірювального комплексу передбачає струмопідвід від однієї з акумуляторних батарей автобуса і забезпечує

гальванічно розв'язане живлення таких значень напруг (струмів навантаження): +12 В (0–8 А), ± 15 В (60 мА), +5 В (0,5 А).

Модуль пройденого шляху та швидкості руху автобуса передбачає вимірювання за допомогою зубчастого диска, розміщеного на карданному валі, та датчика, який зчитує переміщення зубчастого диска (зубець/імпульс). Для зчитування кількості імпульсів застосовано магнітний метод, який є мало чутливим до зовнішніх забруднень.

Відповідно до цього методу було вибрано датчик на ефекті Холла фірми Honeywell серії 1,5Q GTS. Дану серію спеціально розроблено для контролю швидкості обертання та положення зубчастих коліс і валів. Прилад об'єднує в корпусі підсилювач, тригер Шмітта, стабілізатор живлення та постійний магніт. Принцип дії базується на детектуванні зміни щільності розподілу магнітного потоку в момент, коли феромагнітний матеріал (зубець шестірні) проходить уздовж чутливої поверхні датчика. Постійна амплітуда вихідного сигналу датчика не залежить від швидкості обертання шестірні і дозволяє фіксувати малі швидкості. Датчик характеризується високою завадостійкістю, добрим відношенням сигнал/шум, наявністю вбудованих кіл захисту від випадкової зміни полярності напруги живлення та її різких викидів. Робоча частота датчика – до 9 кГц. Повторюваність вимірювань імпульсів – 0,02 % від номінального частотного діапазону, що відповідає похибці вимірювання швидкості $\pm 0,5$ м/с.

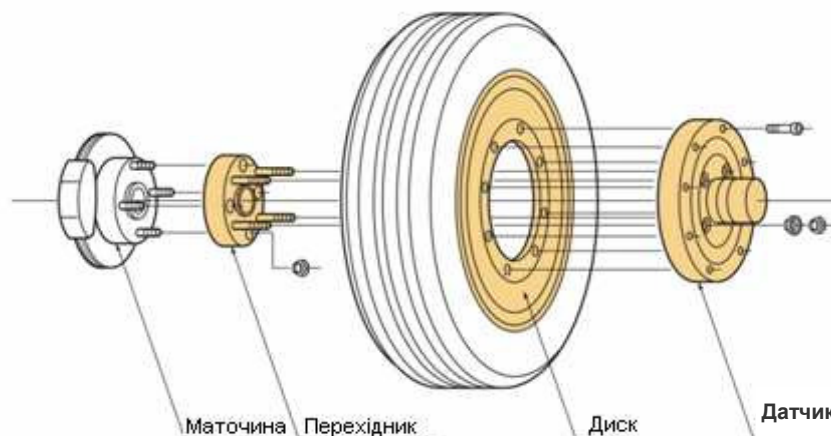


Рис. 2. Схема встановлення датчика гальмівного моменту на колесо

Останнім часом велика увага приділяється розв'язанню зворотних задач теплопровідності (ЗЗТ), у яких за наявними (досить обмеженими) даними про температуру всередині тіла з допомогою комп'ютерного моделювання можна реконструювати його температурне поле, визначати теплофізичні властивості та геометричні характеристики, ідентифікувати початкові та граничні умови, а також уточнювати саму математичну модель явища [4].

Саме з допомогою розв'язання ЗЗТ на підставі дорожніх випробувань І автобуса А-172 на навчально-дорожньому полігоні Львівського автомобільно-дорожнього коледжу НУ «Львівська політехніка» та одному з гірських маршрутів Карпат (с. Латерка –

с. Н. Ворота), який приблизно є еквівалентним за параметрами до вимог випробувань ІІ, було здійснено параметричну ідентифікацію граничних умов 3-го роду. Проводилось не менше 3 заїздів автобуса, достатніх для забезпечення точності [5], з відомими початковими та граничними умовами 2-го роду для передніх гальмових механізмів.

За результатами випробувань виконувалось наближене моделювання температурних режимів гальм, і за співпадінням температурних кривих (рис. 3 та 4) визначались граничні умови 3-го роду, тобто числові значення коефіцієнтів тепловіддачі α , які для випробувань І вкладаються у межі $\alpha = 49 - 53 \text{ Вт/м}^2\text{град.}$, а для випробувань ІІ – $\alpha = 37 - 41 \text{ Вт/м}^2\text{град.}$

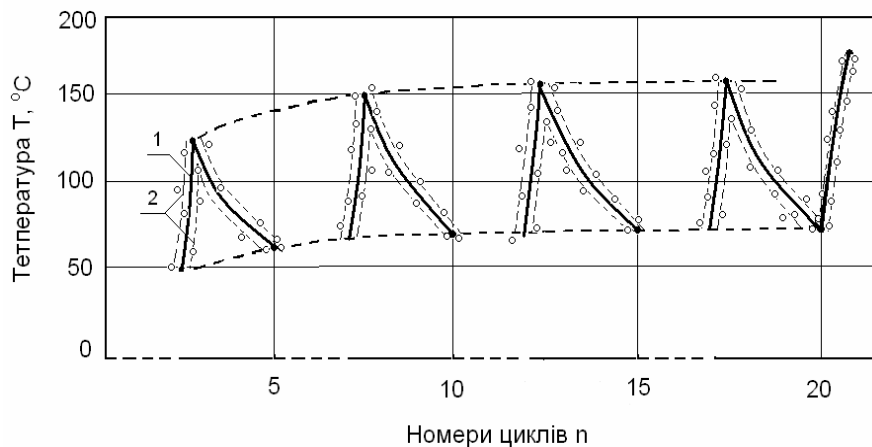


Рис. 3. Зміна температур поверхонь тертя переднього гальмового механізму автобуса А-172 під час випробувань І: 1 – результати моделювання; 2 – результати дорожніх випробувань

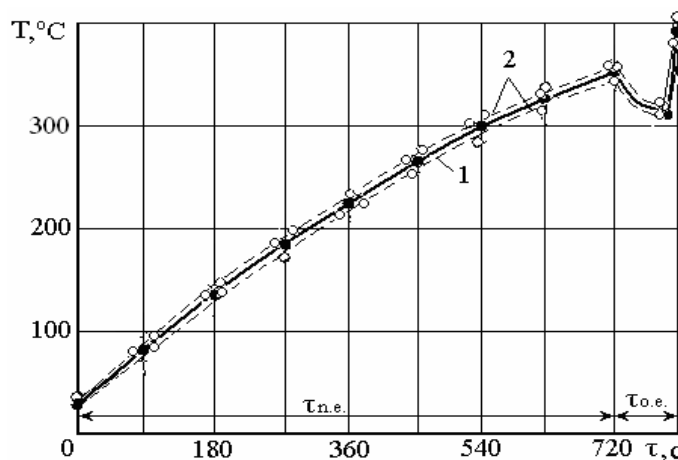


Рис. 4. Зміна температур поверхонь тертя переднього гальмового механізму автобуса А-172 під час випробувань ІІ: 1 – результати моделювання; 2 – результати дорожніх випробувань

Отримані експериментальні значення коефіцієнта тепловіддачі дозволили з допомогою математичного моделювання реконструювати температурні поля вентильованих дискових гальм і тим самим підтвердити достатню адекватність теплової моделі. Для прикладу на рис. 5 наведено температурне поле переднього дискового гальма автобуса А-172 в кінці попереднього етапу випробувань II.

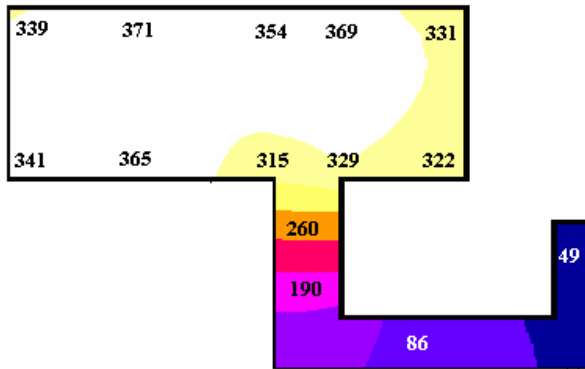


Рис. 5. Температурне поле переднього гальмового механізму автобуса А-172 в кінці попереднього етапу випробувань II

Виходячи з досягнутих температурних режимів гальм автобуса А-172 в кінці попереднього і основного випробувань I та II (див. рис. 3, 4 та 5), можна судити про достатню їх енергоємність, оскільки застосовані в них металокерамічні накладки мають стабільний коефіцієнт тертя в означених температурних межах [6].

Висновки

Проведено експериментальні дослідження температурних режимів вентильованих дискових гальм автобусів на випробуваннях I та II з допомогою створеного вимірювального комплексу.

Порівняння результатів експериментальних випробувань та математичного моделювання показали добру збіжність, що підтверджує правильність вибору математичної моделі задачі.

Розв'язанням зворотної задачі теплопровідності за результатами дорожніх випро-

бувань математичним моделюванням ідентифіковано умови тепловіддачі та реконструйовано температурні поля вентильованих дискових гальм автобуса на типових режимах випробувань.

Результати досліджень підтвердили достатню енергоємність вентильованих дискових гальм з металокерамічними накладками автобуса А-172 на типових режимах випробувань.

Література

1. Гудз Г.С. Тепловий розрахунок дискових гальм автобусів на типових режимах випробувань / Г.С. Гудз. – Л.: Ліга – Прес, 2007. – 128 с.
2. ДСТУ UN/ECER 13-09-2002. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій М, N, O стосовно гальмування (Правила ЄЕК ООН № 13. 09: 2002. ІДТ). – 196 с.
3. Захара І.Я. Модуль вимірювання гальмівного моменту коліс автобуса під час типових випробувань / І.Я. Захара, О.Р. Клипко // Праці 10-го міжнар. симпоз. укр. інж.-механіків у Львові. – Л.: КІНПАТРИ ЛТД, 2011. – С. 329 – 330.
4. Мацевитый Ю.М. Обратные задачи теплопроводности. Том 2 / Ю.М. Мацевитый. – К.: Наукова думка, 2003. – 392 с.
5. Гудз Г.С. Техніко-економічна оцінка результатів випробувань I дискових гальм з урахуванням системологічного підходу / Г.С. Гудз, І.Я. Захара // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2011. – Вып. 53. – С. 51–55.
6. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник. Электронная библиотека / Б.Н. Бабич; под ред. Ю.В. Левинского. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 520 с.

Рецензент: В.О. Богомолов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 2 квітня 2012 р.