

УДК 629.423 (045)

Шматков В.О., к. т. н., ст. н. с.,
Яблонський Р.Ф., ст. н. с.
ДП НДКТИМГ

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНО-МОДЕЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ НАКЛАДОК ГАЛЬМІВНИХ БАРАБАННОГО ТА ДИСКОВОГО ГАЛЬМА ТРАМВАЙНИХ ВАГОНІВ

Запропоновано методика лабораторно-модельних випробувань накладок гальмівних барабанного та дискового гальма трамвайних вагонів

Предложена методика лабораторно-модельных испытаний накладок тормозных барабанного и дискового тормоза трамвайных вагонов

Proposed the method of laboratory model testing of brake linings and disc brake drum tramcars

Вступ. Ґрунтуючись на вимогах нормативних документів України, в яких вказано, що гальмівні накладки на чеських трамвайних візках повинні бути за своїми фрикційним властивостями не гіршими ніж гальмівні накладки, що поставляє завод-виготовлювач, Науково-дослідний інститут міського господарства спільно з Інститутом проблем матеріалознавства НАН України провели лабораторно-модельні дослідження фрикційних матеріалів, що виготовляються підприємствами України. Дослідження проводилися на машині тертя типу МИФИ-1 за спеціально розробленою методикою. В якості підконтрольних параметрів для порівняння накладок використовувалися залежності коефіцієнта тертя від температури фрикційного розігріву і характеристики зношення пари тертя. За результатами випробувань фрикційних характеристик чехословацької гальмівної накладки для трамвайного вагона були розроблені технічні вимоги до фрикційних гальмівних накладок трамвая.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження стосовно фрикційних властивостей гальмівних накладок проводилися ДП «НДКТИ МГ» разом з інститутом проблем матеріалознавства АНУ під час приймальних випробувань гальмівних накладок, виготовлених на багатьох підприємствах України.

Постановка завдання. На даний час почастишали випадки аварії трамвайних вагонів на ухилах, що призводять до людських жертв (м. Дніпродзержинськ, м. Кривий Ріг), тому питання оцінки ефективності гальмівних накладок механічного гальма трамвайних вагонів є дуже актуальним, особливо для трамвайних підприємств міст, що мають затяжні ухили.

В Україні експлуатуються гальмівні накладки фрикційні властивості, яких представлено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Фрикційні властивості гальмівних накладок

Виготовлювач накладки	Середнє значення коефіцієнта тертя в залежності від температури нагріву (°C)							Зношення, мкм/гальм	
	100	150	200	250	300	350	400	Накладка	барабан
Чехія, барабанне гальмо трамвая	0,312	0,310	0,298	0,289	0,292	0,298	0,305	5,02	0,0275
Прилуки, барабанне гальмо трамвая	0,32	0,315	0,315	0,31	0,31	0,305	0,304	5,81	0,08
Регина, барабанне гальмо трамвая	0,258	0,252	0,247	0,247	0,276	0,292	0,301	2,84	0,155
Бест, барабанне гальмо трамвая	0,311	0,298	0,283	0,278	0,274	0,268	0,263	8,1	0,035
ПП «Шинкаренко»	0,308	0,308	0,308	0,304	0,295	0,294	0,293		

Основна частина. Метою випробувань є перевірка відповідності номенклатури основних показників накладки "Технічним вимогам", розробленим НДКТІ МГ і затверджених Держжитлокомунгоспом України..

Завдання випробувань.

У процесі виконання лабораторно-модельних випробувань вирішуються наступні завдання:

- контроль відповідності виробництва накладок технологічному регламенту;
- контроль сировини й матеріалів накладок на відповідність вимогам нормативно-технічної документації;
- контроль якості виготовлення;
- контроль масо-габаритних показників;
- контроль показників, що впливають на безпеку руху.

Методи випробувань.

Контроль відповідності виробництва накладок технологічному регламенту та відповідності сировини й матеріалів вимогам нормативно-технічної документації проводиться методом аналітичного порівняння.

Контроль зовнішнього вигляду здійснюється візуально на відповідність даним таблиці 2.

№	Найменування відхилень	Норма
1.	Раковини і ум'ятини на робочій поверхні.	Не більш 1,5% від площини накладки, глибиною не більше 0,5 мм.
2.	Сторонні вclusions на поверхні накладок	Крапкові вclusions інших інгредієнтів
3.	Сколотість кутів.	Площина не більше 0,24 см ² , не більше 1 шт.
4.	Відтиск від виштовхувача прес-форм.	Висота не більше 1 мм.

Розробка математичної моделі. Математична модель була побудована в чотири етапи:

Контроль геометричних розмірів.

Зовнішній і внутрішній діаметри накладок вимірюють граничними калібрами або штангенциркулем із ціною розподілу 0,1 мм за ГОСТ 166-89 у трьох крапках.

Товщину накладок вимірюють мікрометром типу МК-25 за ГОСТ 6507-80 у чотирьох діаметрально протилежних крапках по окружності середнього діаметра.

Різновтовщинність накладок обчислюють за результатами вимірів товщини як різниця максимального і мінімального значень товщини.

Визначення твердості по Брінелю.

Сутність методу полягає у втискуванні сталюї кульки в накладку під дією навантаження, яке прикладається перпендикулярно поверхні накладки на протязі заданого часу, та вимірюванні діаметра отриманого відбитку.

Твердість по Брінелю визначають згідно з ГОСТ 9012-79 на твердомірі по ГОСТ 23677-79, або іншому твердомірі, який забезпечує наступні умови випробування:

- навантаження повинно забезпечуватись 4905 Н (500 кг) з похибкою не більше $\pm 1\%$;
- тривалість утримання під навантаженням (30 ± 4) с;
- сталеві кульки твердоміра діаметром $(10 \pm 0,004)$ мм повинна відповідати ГОСТ 3722-81.

Втискання кульки в накладку проводять через копіювальний папір марок МБ-14, МВ-16 або Р-16 по ГОСТ 489-88. Діаметр відбитку вимірюють мікроскопом МПБ-2, з ціною поділки 0,005 мм. Місце, де визначають твердість, зачищають шліфувальною шкіркою по ГОСТ 5009-82, ГОСТ 6456-82 або ГОСТ 10054-82.

Випробування проводять при температурі 20 °С.

Під час вимірювання твердості, твердомір повинен бути захищений від ударів та вібрацій.

Кулька твердоміра повинна стикатися з поверхнею накладки без удару. На кожній накладці роблять три відбитки (два на кінцях накладки та один у центрі), при цьому відстань між центрами окремих відбитків, а також відстань від центру відбитку до краю накладки повинна бути не менше 20 мм. Діаметр відбитку визначають у двох взаємно перпендикулярних напрямках та визначають як середнє арифметичне двох вимірювань. За результат випробування однієї накладки приймають середнє арифметичне трьох вимірювань. За результат випробування партії приймають середнє арифметичне значення твердості трьох накладок. Точність обчислення до 0,1. Ступінь округлення до 1,0.

Контроль коефіцієнта тертя та зносу.

Прилади та матеріали.

Випробування проводять на інерційній машині МІФІ-1.

Машина забезпечує:

– взаємне притискання рухомого і нерухомого кільцевих зразків в осьовому напрямку силами 196-7840 Н (20 - 800 кгс) з межами допустимого квадратичного відхилення при оцінці випадкової складової наведеної похибки силовимірювача не більше 2,5% від встановлююмого зусилля при зусиллях більше 392 Н (40 кгс);

– частоту обертання рухомого зразка від 300 до 6000 хв⁻¹, з приведеною похибкою не більше 5%;

– установку на робочому валу махових мас з похибкою динамічного моменту інерції не більше 0,001 Н*мс² (0,01 кгс*мс²);

– можливість відключення приводного валу в процесі випробувань. Вимірювальна система машини тертя забезпечує беззупинну реєстрацію параметрів: температури в діапазоні від температури навколишнього середовища до 600 °С за допомогою термоелектричних перетворювачів (термопар) по ГОСТ 6616-74 із похибкою не більше 10 °С у діапазоні 20-200 °С і не більше 30 °С у діапазоні 200- 600 °С;

- моменту сил тертя в діапазоні 0,98-29,4 Нм (10-300 кгс*см) із середнім квадратичним відхиленням при оцінці випадкової складової наведеної похибки моментовимірювача не більше 2,5 % сумарної кількості обертів рухомого зразка за час гальмування з похибкою не більше 1 оберта;

- тривалості гальмування з абсолютною похибкою не більше 0.1 с.

Комплект пар зразків досліджуваного сполучення матеріалів складається з дискових зразків та сегментних зразків.

Три симетрично розташованих сегменти на сегментному зразку виконують таким чином, щоб центральний кут кожного сегмента складав 120° Квз. де $K_{вз} = A_{a1}/A_{a2}$ - коефіцієнт взаємного перекриття фрикційного пристрою; A_{a1} та A_{a2} - номінальні площі поверхні тертя відповідно меншого і більшого елементів тертьового зчленування фрикційного пристрою.

Рухомими і нерухомими зразками комплекту є зразки матеріалів, із яких виготовлені відповідно рухомі і нерухомі тертьові елементи пар тертя натурального фрикційного пристрою.

Сегментний зразок виконують із того ж матеріалу, що і тертьовий елемент моделюемого натурального фрикційного пристрою з меншою поверхнею тертя. Під термоелектричні перетворювачі на нерухомому зразку виконують отвір діаметром 1.5 мм для установки термопари на середньому діаметрі зразка (4 мм) і на відстані від поверхні тертя $1,7 \pm 0,2$ мм для виміру об'ємної температури.

Для асбофрикційних, волокнистих і порошкових матеріалів допускається застосовувати зразки з характеристиками шорсткості

робочих поверхонь (поверхонь тертя), що відповідають технології виготовлення деталей.

Промивочні рідини: бензин по ГОСТ 443-76, ацетон по ГОСТ 2603-71. Вимірювальний прилад, що забезпечує вимір зносу зразка по відстані від робочої поверхні до незмінної базової поверхні зразка з похибкою не більше 0.002 мм.

Підготування до випробувань.

З накладки випробовуємого матеріалу вирізають три сегменти (площа кожного 4 см²) і прикріплюють до сталевій підложки. Зразок шліфують із двох сторін і намічають фіксовані місця для виміру лінійного зносу.

Нерухомий зразок (контртіло) із чавуна або стали шліфують із двох сторін і намічають фіксовані місця для виміру лінійного зносу.

Для виміру об'ємної температури в отвір нерухомого зразка встановлюють термоелектричний перетворювач таким чином, щоб його голівка стосувалася дна отвору.

Рухомий і нерухомий зразки встановлюють у машині тертя.

Перед випробуванням пара тертя повинна бути приробленою. Приробку здійснюють окремими гальмуваннями. Режим приробки:

- динамічний момент інерції, кгм² _____ 0,24
- тиск, МПа 1.5
- частота обертання, хв-1 3000
- температура початку гальмування, °С до 100

Приробка рахується закінченою, якщо по всій номінальній поверхні зразків є сліди зносу на площі не менше 90 %. Площа, яку займають сліди тертя, контролюють періодично візуальним оглядом без знімання зразків із машини тертя.

Проведення випробування.

Визначення залежності коефіцієнта тертя від тиску.

Виконують по три гальмування при тиску 0.5; 1.0; 1.5; 2.0 МПа, динамічному моменті інерції рівному 0,24 кгс*м², початковій частоті обертання 3000 хв -1.

Температура на початку гальмування 100 °С. Реєструється поточний момент тертя. Наприкінці кожного гальмування реєструють число обертів махових мас за час гальмування.

Визначення залежності коефіцієнта тертя від швидкості ковзання. Виконують по три гальмування при частоті обертання 1500, 3000, 4500 хв -1

Номінальний тиск на зразки 1,5 МПа, динамічний момент інерції - 0.24 кгс*м². Температура на початку гальмування -100 °С.

Реєструється поточний момент тертя і наприкінці кожного гальмування число обертів махових мас за час гальмування.

Визначення залежності коефіцієнта тертя від температури при нагріванні:

(втрата ефективності). При кожній із початкових температур 100, 150, 200, 250, 300, 350 і

400 °С проводять по три гальмування з реєстрацією поточного моменту тертя, наприкінці

кожного гальмування - температура і числа обертів махових мас за час гальмування.

Номінальний тиск на зразки 1,5 МПа, динамічний момент інерції - 0,24 кгс*м² частота обертання – 3000 хв-1.

Визначення залежності коефіцієнта тертя від температури при охолодженні після нагрівання (восстановлюємість).

Виконують по три гальмування при кожній із початкових температур: 400, 350, 300, 250, 200, 150 і 100 із реєстрацією поточного моменту тертя, наприкінці гальмування кінцевої температури і числа обертів махових мас за час гальмування.

Номінальний тиск на зразки 1,5 МПа, динамічний момент інерції 0,24 кгс*м², частота обертання- 3000 хв-1.

Визначення приведенного лінійного і вагового зносу, інтенсивності зношування. Виконують 50 гальмувань при наступному режимі іспитів:

- динамічний момент інерції, кг*м² 0,24
- номінальний тиск на зразки, МПа 1,5
- початкова частота обертання, хв-1 3000
- температура початку гальмування, °С 100

Товщину зразків вимірюють у такий спосіб: зразок із фрикційного матеріалу - у 3-х фіксованих точках; контртіло (сталь, чавун) - у 8-ми фіксованих точках.

Для виміру товщин зразків використовують скобу важельну по ГОСТ 4734 із ціною поділки 0,002 мм, кінцеві міри довжини I (II) класу по ГОСТ 9038 і мікрометр типу МК-25-1 по ГОСТ 6507-78 із ціною поділки 0,01 мм.

Обробка результатів випробувань.

4.6. 1. Коефіцієнт тертя f визначають як середній коефіцієнт тертя при розшифруванні діаграм моменту тертя, звідки розраховується середня ордината, а потім за графіком тарировки - середній момент тертя $M_{ср}$.

Коефіцієнт тертя визначають по формулі:

$$f = \frac{2M_{mp}^{ср}}{D_{ср} P_{уд} A_{обр}^a},$$

де: $M_{mp}^{ср}$ - момент тертя середній;

$D_{ср}$ - середній діаметр зразка 0,064 м;

$P_{уд}$ - питомий тиск на зразки - 0,5; 1,0; 1,5 й 2,0 МПа

$A_{обр}^a$ - площа зразка з 3-х сегментів, 12 см².

Коефіцієнт тертя f може бути також обчислений і по наступній формулі:

$$f = \frac{I * \omega^2 * K}{10^6 * 4\Pi * P_a * A_{обр}^a * R_{mp} * n_T}, \text{де}$$

- I - момент інерції махових мас, кг*см²;
 ω - частота обертання махових мас, с⁻¹;
 P_a - номінальне тиску на зразки, МПа;
 $A_{обр}^a$ - номінальна площа тертя зразків, м²;
 R_{mp} - середній радіус тертя - 0,032 м;
 n_T - число обертів махових мас за час гальмування;
 K - коефіцієнт опору:

$$K = I - \frac{\Pi_T}{\Pi_a}$$

де: Π_a - число обертів махових мас за час вибігу.

За результат випробувань на кожному етапі приймають середнє арифметичне трьох обчислень коефіцієнта тертя при кожному тиску, швидкості та температурі, та вичерчують по одній кривій.

Наведене лінійне зношування i_n елемента пари тертя визначають по наступній формулі:

$$i_n = \frac{\Delta h}{n_{мон}}$$

Δh - середнє зношування зразка, як середнє арифметичне за результатами виміру в контрольованих крапках ($\Delta h = h_n - h_k$, де h_n и h_k - відстань від робочої поверхні до базової до й після завершення випробувань).

$n_{мон}$ - кількість гальмувань за етап визначення зношування. При вимірі зношування зважуванням наведене лінійне зношування Δh визначають по формулі:

$$\Delta h = \frac{\sigma_n - \sigma_k}{\gamma A_{обр}^a \text{ (или } A_{кт}^a) n_{мон}},$$

де: γ - щільність матеріалу кг/м³;

σ_k - вага зразка до й після випробувань;

$A_{обр}^a$ и $A_{кт}^a$ - номінальна площа зразка й контртіла, м².

Інтенсивність зношування I_w в 10⁻¹² (м³/дж) обчислюють по формулі:

$$I_w = \frac{10^3 \ 2\Delta h A_a}{I \ 10^2 \ K \ Z}$$

Z - загальна кількість гальмування за етап визначення інтенсивності зношування.

Значення об'ємної температури визначають по показниках приладу, що задає.

Час гальмування визначають за електро-секундо-вимірювачем або по мітках часу на діаграмі.

Для визначення зміни маси в рідинах з накладок вирізують зразки розміром не менш (22×27) мм і товщиною, яка дорівнює товщині накладки.

Зразки зважують на лабораторних вагах ГОСТ 24104-88 (третій клас точності, ціна поділки 2 мг) і розміщують при температурі (20 ± 5) °С на (4 ± 0,25) год. у воду ГОСТ 6709-72.

По закінченні зазначеного часу зразки виймають, надлишки води або масла ретельно видаляють із поверхні зразків фільтрованим папером і зразки знову зважують.

Зміна маси в середовищі води, мастила у відсотках обчислюють за формулою:

$$x = [(m_1 - m) / m] * 100, \%$$

де: m - маса зразка до випробування, м;

m₁ - маса зразка після випробування, м.

За результат випробувань партій приймають середнє арифметичне значення результатів випробувань трьох накладок. Точність обчислення до 0,001 м, ступінь округлення до 0,01.

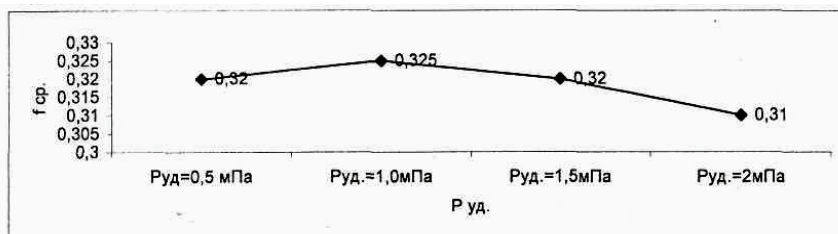
Границю міцності при зрізі у поперечному напрямку визначають на спеціальному пристрої (методика визначення межі міцності накладки дискового гальма з колодкою). Випробовують три вироби при нормальних умовах і три - після прокалювання у вертикальному положенні при температурі (400±10) °С протягом (60 ± 5) хвилин.

Вироб встановлюють у пристрій, закріплюють за допомогою затискача, підводять пуансон до накладки і продовжують переміщення пуансона з швидкістю (0,4 ± 0,04) мм/с до відриву накладки від колодки. Зусилля відриву заміряють динамометричним пристроєм з точністю до 0,2 кН.

Залежності коефіцієнта тертя від температури фрикційного розігріву, тиску та обертів для гальмівних накладок ДП «Пластмас – Прилуки» наведені нижче :

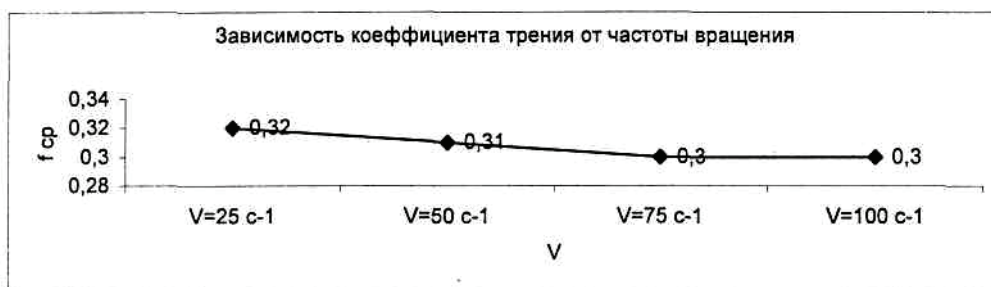
Залежність коефіцієнта тертя від навантаження при частоті обертання V=50с⁻¹ T=100°С

	Середнє значення коефіцієнта тертя F_{cp}			
Зразок Ф-6П	$P_{уд.}=0,5$ МПа	$P_{уд.}=1,0$ МПа	$P_{уд.}=1,5$ МПа	$P_{уд.}=2$ МПа
	0,32	0,325	0,32	0,295



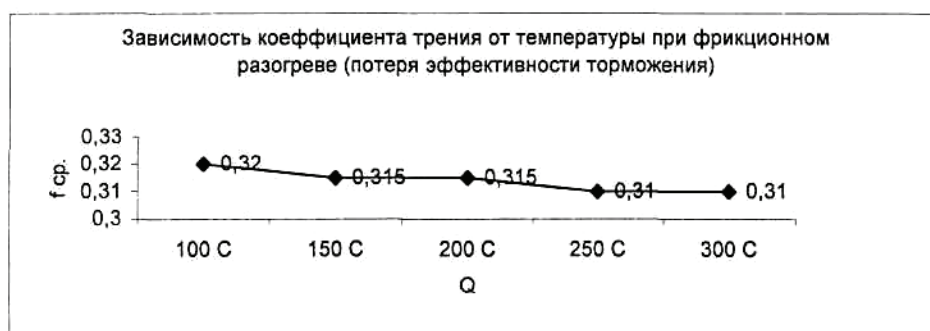
Залежність коефіцієнта тертя від частоти обертання при навантаженні $p=1,5$ МПа и $T=100^\circ\text{C}$.

	Середнє значення коефіцієнта тертя F_{cp}			
Зразок	$V=25$ с ⁻¹	$V=50$ с ⁻¹	$V=75$ с ⁻¹	$V=100$ с ⁻¹
Ф-6П	0,32	0,31	0,30	0,30



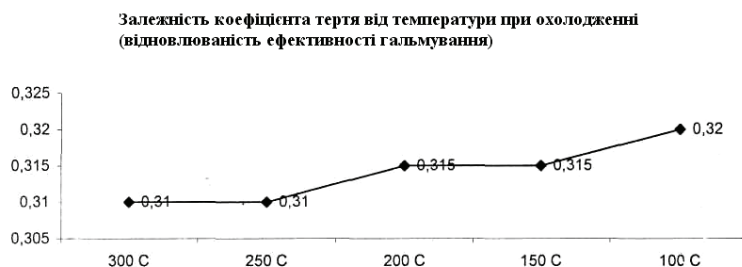
Залежність коефіцієнта тертя від температури при фрикційному розігріві при $V=35$ с⁻¹ и при $P=3,0$ МПа (втрата ефективності гальмування).

	Середнє значення коефіцієнта тертя F_{cp}							
Зразок	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C	
Ф-6П	0,32	0,315	0,315	0,31	0,31	-		



Залежність коефіцієнта тертя від температури при охолодженні після розігріву. Відновлюваність коефіцієнта тертя при частоті обертання $V=35$ с⁻¹ и при $P=3,0$ МПа.

	Середнє значення коефіцієнта тертя $F_{\text{ср}}$						
Зразок	400°C	350°C	300°C	250°C	200°C	150°C	100°C
Ф-6П	-	-	0,31	0,31	0,315	0,315	0,32



Зношувальні характеристики матеріалу при частоті обертання $\omega=35$ с⁻¹ $P=7,5$ МПа и $T=100^\circ$ C.

Гальмівна накладка	Лінійне зношення гальмівної накладки мкм/гальм	Лінійне зношення чавуну СЧ-15 Мкм/гальм	Вагове зношення чавуну СЧ-15 Мг/гальм
Ф-6П	3,33(5,81)	0,07 (0,08)	0,15 (0,16)

Зношувальні характеристики пари тертя після дослідження залежності коефіцієнта тертя від температури по табл. 3 и 4.

Гальмівна накладка	Лінійне зношення гальмівної накладки мкм/гальм	Лінійне зношення чавуну СЧ-15 Мкм/гальм	Вагове зношення чавуну СЧ-15 Мг/гальм
Ф-6П	6,00	0,085	0,16

Висновки. За результатами лабораторно - модельних випробувань фрикційного матеріалу Ф-6П, виготовленого на ДП «Пластмас» ТОВ «Торговий Дім» Пластмас - Прилуки »можна зробити наступні висновки:

1. Матеріал Ф-6П, має високі фрикційні й зношувальні характеристики, відповідають вимогам ГОСТ.

2. Коефіцієнт тертя (0,31 - 0,34) має високу стабільність в дослідженому діапазоні навантажень, швидкостей і температур, що дозволяють прогнозувати ефективну і довговічну роботу фрикційних вузлів

3. Рекомендується для використання в експлуатації.

Запропонована методика лабораторно - модельних випробувань фрикційних матеріалів на машині тертя дозволяє робити попередні висновки по фрикційним властивостям розроблених нових гальмівних накладок.

Використані джерела інформації:

1. «Використання нових фрикційних матеріалів для гальмівних систем транспортних засобів» Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми, перспективи та нормативно-правове забезпечення енерго-ресурсо-збереження в житлово-комунальному господарстві» г.Алушта, 2007р. , 11-15червня Коваленко В.І., Шматков В.О.
2. «Методика оценки эффективности стояночного тормоза трамвайного вагона» Тезисы докл. XXXIV научно-техн. конференция преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства ,12- 14 мая 2008г. Харьков, Мельник А.П., Шматков В.О
3. «Контроль эффективности механических тормозных систем и сопротивления движению трамвайных вагонов в условиях эксплуатации Тезисы докладов специализированной конференции 10 июня 2009г. г. Киев.Украина «Автоматизация. Транспорт.» , № 2, Гуйда О.Г., Шматков В.О.