

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ ПРИВЕДЕНОЇ ІНЕРЦІЙНОЇ МАСИ РОЛИКОВОГО СТЕНДА

Як показують багато досліджень, зокрема, відображені в роботах [1, 2], що проводилися на інжинірингу систем автомобільного транспорту ХНАДУ (ХАДІ), інерційні стенди дають більш достовірну інформацію про технічний стан гальмівної системи. Інерційний метод перевірки гальм дозволяє відтворити реальні швидкісні і теплові режими роботи гальма. Отже, за всіма параметрами, які визначають точність моделювання на стенді реальних режимів роботи гальма, кращим є інерційний роликівий стенд.

Точність обчислення гальмівної сили залежить від того, наскільки точно знаємо складові приведені маси і наскільки точно вимірюємо лінійне сповільнення [3].

На стенді пересувної станції діагностики легкових автомобілів (ПДС-Л), яка знаходиться на кафедрі технічної експлуатації і сервісу автомобілів ХНАДУ, лінійне сповільнення вимірюють із точністю  $\pm 1\%$ . Допустима похибка обчислення гальмівної сили за ДСТУ 3649:2010 [4] становить  $\pm 3\%$ . Тоді після перетворень та підстановки чисельних значень отримуємо, що приведену масу системи ми повинні знати з точністю  $\pm 2,83\%$  [5].

Приведена маса колеса і пов'язаних з ним частин автомобілів, що обертаються, може варіювати під дією різних факторів. Найбільш впливовими факторами є: варіація моменту інерції колеса (знос шини та металевих частин гальмівних механізмів, зміна тиску), варіація радіусу колеса (залежить від переданого моменту) [5].

Приведена маса колеса визначається моментом інерції шини та її радіусом кочення. А ці дві величини істотно залежать від початкових характеристик покриття і від величини зносу протектора. Дані щодо варіації початкового моменту інерції відсутні, але ДСТУ 8816:2018 [6] допускає відхилення номінального діаметра шини  $\pm 1\%$ . Оскільки момент інерції циліндра прямо пропорційний радіусу у 4-й ступені ( $I = m \cdot R^2/2 = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot B \cdot R^2/2$ ), можна очікувати, що при таких допусках варіація моменту інерції становитиме мінімум  $\pm 4\%$ . Зміна моменту інерції шини зі зносом можна оцінити розрахунковим шляхом за методикою, наведеною у [5].

Також, на точність визначення гальмівної сили впливатиме знос деталей гальмівних механізмів автомобіля – гальмівного барабана чи диска. Зміна моменту інерції цих деталей можна оцінити розрахунковим шляхом за методикою, наведеною у [5].

Розрахунки показали, що внаслідок зносу протектора шини, зміна моменту інерції колеса складає до 28%. Знос металевих деталей гальмівних механізмів автомобіля змінює момент інерції системи ще на 1,5-2,7%.

При перевірці провідних коліс під частинами, що обертаються, розуміються також деталі трансмісії. Незнання величини приведеної маси трансмісії також вносить похибку обчислення гальмівної сили [7, 8]. Приведену масу трансмісії можна визначити, вимірюючи моменти інерції окремих її частин і приводячи їх до осі. Але це трудомісткий процес і займає багато часу. При цьому приведена маса трансмісії також величина непостійна: відбувається знос деталей, хоч і невеликий, але на великих радіусах, що позначається на значенні, що нас цікавить.

Мета роботи: запропонувати варіанти доробки конструкції стенду ПДС-Л для оптимізації його інерційної маси.

Як показали дослідження кафедри ІСАТ ХНАДУ [2, 3], технічно раціональніший спосіб розв'язання проблеми підвищення точності діагностування гальм на інерційному роликовому стенді – це збільшення приведеної маси стенду. Збільшити приведену масу стенда треба таким чином, щоб частка приведеної маси колеса і пов'язаних з ним частин автомобіля, що обертаються, становила невелику частину і вносила похибку не більш допустимої [3].

Це не складе проблем для стаціонарних стендів, де можна встановити додаткові маховики або збільшити існуючі. Однак, коли йдеться про пересувні стенди, доводиться думати про небажаність збільшення металоємності, тобто ваги стенду.

Проаналізуємо можливі шляхи збільшення приведеної маси на прикладі пересувного стенду ПДС-Л.

Ціль – отримати необхідний момент інерції стенда при мінімальному збільшенні його ваги. Необхідно також відзначити, що збільшення приведеної маси стенду вирішується по-різному у двох випадках.

Варіант 1 – це виготовлення нового стенду. Збільшити приведену масу стенду можна різними способами. Розглянемо кілька із них.

1. Збільшити  $m_{ст}$  можна за рахунок збільшення товщини стінки ролика (див. рис. 1).



Рисунок 1 – Доробка конструкції нового стенду шляхом збільшення товщини стінки ролика

Зовнішній діаметр ролика 240 мм, товщина стінки  $H = 8$  мм.

Збільшити приведену масу стенда необхідно на 312 кг, тобто додатковий момент інерції роликів має становити  $1,62 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Потрібний додатковий момент інерції одного ролика  $I_p = 0,405 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

Момент інерції ролика визначається як момент інерції порожнистого циліндра за такою формулою

$$I = \sqrt{\frac{L \cdot \pi \cdot \rho \cdot (R_H^4 - R_B^4)}{2}}, \quad (1)$$

де  $L$  – довжина циліндра, м;

$\rho$  – густина матеріалу циліндра,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$R_H$  – зовнішній радіус циліндра, м;

$R_B$  – внутрішній радіус циліндра, м.

Товщину стінки ролика необхідно збільшувати, зменшуючи його внутрішній діаметр. Збільшувати зовнішній діаметр небажано, так як це вимагає переробки вимірювальної системи і погіршить умови роботи навантажувально-приводного пристрою (НПП) (потрібний більший крутний момент при меншій швидкості).

Визначимо додаткову товщину стінки ролика за формулою

$$H' = R_H' - R_B', \quad (2)$$

де  $R_H' = R_B$  – зовнішній радіус нового ролика, м;

$R_B'$  – внутрішній радіус нового ролика, м.

Внутрішній радіус нового ролика визначимо із формули (1)

$$R_B' = \sqrt[4]{\frac{L_p \cdot \pi \cdot \rho_p \cdot R_H'^4 - 2 \cdot I_p}{L_p \cdot \pi \cdot \rho}} = \sqrt[4]{\frac{0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot 0,112^4 - 2 \cdot 0,405}{0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850}} = 0,1 \text{ м},$$

де  $L_p = 0,6$  м – довжина ролика;

$\rho = 7850 \text{ кг}/\text{м}^3$  – густина матеріалу ролика.

Додаткова товщина стінки ролика:  $H' = 0,112 - 0,1 = 0,012$  м.

Загальна товщина стінки ролика:  $H_{об} = H + H' = 0,008 + 0,012 = 0,02$  м.

При цьому металоемність стенду збільшиться на масу додаткової частини роликів і становитиме:

$$m = 4 \cdot [L_p \cdot \pi \cdot \rho_p \cdot (R_n^2 - R_b^2)] = 4 \cdot [0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot (0,112^2 - 0,1^2)] = 150,4$$

кг.

2. Підвищити приведену масу стенду можна, збільшуючи товщину стінки ролика та збільшуючи маховик (рис. 2).

Збільшити момент інерції маховика можна лише за рахунок зменшення внутрішнього діаметра. Зовнішній діаметр маховика не можна збільшити, оскільки він обмежений габаритами стенду та конструкцією візка. Зовнішній діаметр маховика  $D_n = 0,16$  м; внутрішній –  $D_b = 0,264$  м.

При цьому металоемність стенду буде найменшою, якщо внутрішні діаметри нового ролика та нового маховика будуть однакові.

З наведених вище формул видно, що момент інерції зростає пропорційне 4-ї ступені радіусу, а маса – пропорційне 2-ї. Тому збільшення металу на малому радіусі збільшує вагу стенду, практично не змінюючи його момент інерції.

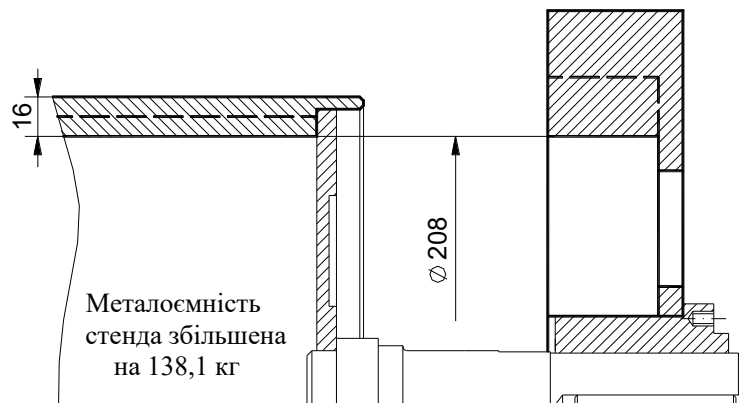


Рисунок 2 – Доробка конструкції нового стенду шляхом збільшення товщини стінки ролика та збільшення розмірів маховика

Новий внутрішній діаметр визначається з наступного виразу:

$$R_b^{//} = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot I_p - L_m \cdot \pi \cdot \rho_m \cdot R_{nm}^4 - L_p \cdot \pi \cdot \rho_p \cdot R_{np}^4}{-L_m \cdot \pi \cdot \rho_m - L_p \cdot \pi \cdot \rho_p}} =$$

$$= \sqrt[4]{\frac{2 \cdot 0,405 - 0,055 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot 0,132^4 - 0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot 0,112^4}{-0,059 \cdot 3,14 \cdot 7850 - 0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850}}$$

$$= 0,104 \text{ м,}$$

де  $L_M = 0,055$  м – ширина маховика;

$\rho_M = 7850$  кг/м<sup>3</sup> – густина матеріалу маховика;

$R_{HM}' = R_{BM} = 0,132$  м – зовнішній діаметр додаткового маховика м.

Товщина стінки нового ролика:  $H = R_{HP} - R_B'' = 0,12 - 0,104 = 0,016$  м.

Металоемність стенду збільшиться на наступну величину:

$$m = 4 \cdot [L_M \cdot \pi \cdot \rho_M \cdot (R_{HM}'^2 - R_B''^2) + L_P \cdot \pi \cdot \rho_P \cdot (R_{HP}^2 - R_B''^2)] = \\ = 4 \cdot [0,055 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot (0,132^2 - 0,104^2) + 0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot (0,112^2 - 0,104^2)] = 138,1 \text{ кг.}$$

Виконані розрахунки показують, що збільшити приведену масу стенду краще за рахунок збільшення стінки ролика та маховика.

Варіант 2 – це доробка конструкції існуючого екземпляра. Тут найважливіша вимога – мінімум змін існуючої конструкції та простота виконання доробки.

З цих позицій найзручніше збільшити приведену масу встановивши всередину роликів сталеві прутки (як показано на рис. 3), або установкою металевих труб, залитих свинцем або іншим важким матеріалом. Оскільки свинець метал дорогий, то встановлення сталевих прутків буде набагато дешевшим.

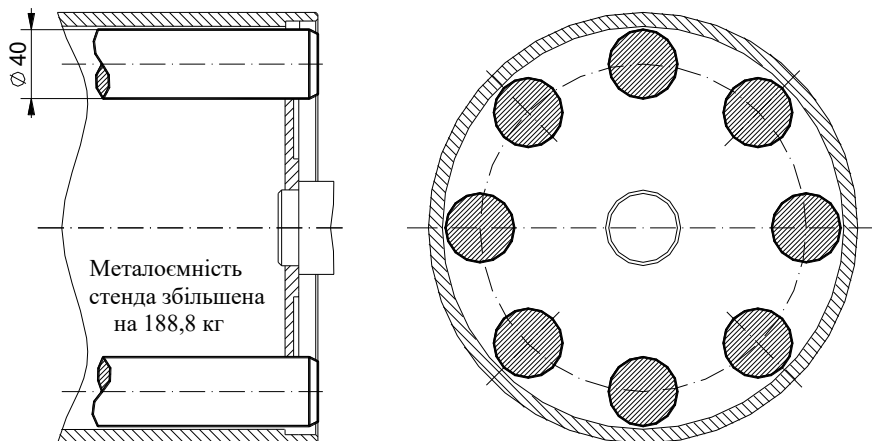


Рисунок 3 – Збільшення приведенної маси існуючого екземпляра стенда

Визначимо необхідний діаметр та кількість прутків. Прийmemo діаметр прутка 40 мм. Власний момент інерції прутка:

$$I_0 = \frac{L \cdot \pi \cdot \rho \cdot R^4}{2} = \frac{0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot 0,02^4}{2} = 0,0012 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де  $L = 0,6$  м – довжина прутка, що дорівнює довжині ролика.

Як зазначалося вище, момент інерції зростає пропорційно 4-ї ступені радіусу. Тому розташовувати прутки необхідно максимально близько до внутрішньої сторони ролика. Виходячи з цього, радіус установки прутків приймемо рівним 0,09 м.

Момент інерції прутка, встановлений на радіусі  $l$ :

$$I = I_0 + m_{\text{п}} \cdot l^2, \quad (3)$$

де  $m_{\text{п}}$  – маса прутка, кг;

$l = 0,09$  м – радіус установки.

Маса прутка:  $m_{\text{п}} = L \cdot \pi \cdot \rho \cdot R^2 = 0,6 \cdot 3,14 \cdot 7850 \cdot 0,02^2 = 5,9$  кг.

$I = 0,0012 + 5,9 \cdot 0,09^2 = 0,05$  кг·м<sup>2</sup>.

Потрібна кількість прутків:  $n = \frac{I_{\text{р}}}{I} = \frac{0,405}{0,05} \approx 8$ .

Металоємність стенду збільшиться на масу встановлених прутків:

$m = m_{\text{п}} \cdot n \cdot 4 = 5,9 \cdot 8 \cdot 4 = 188,8$  кг.

Запропоновані варіанти доробки конструкції стенду ПДС-Л для того, щоб збільшити приведену інерційну масу стенда. Це треба зробити таким чином, щоб частка приведеної маси колеса і пов'язаних з ним частин автомобіля, що обертаються, становила невелику частину і вносила похибку не більш допустимої. З цих позицій найзручніше збільшити приведену масу встановивши всередину роликів сталеві прутки. При цьому металоємність стенду збільшиться на 188,8 кг.

### Література

1. Е.Х. Рабінович, «Дослідження та вдосконалення методів та засобів стендової перевірки автомобільних гальм» дис. канд. техн. наук, ХАДІ, Харків, 1981.
2. М.Я. Говорущенко, В.П. Волков, Е.Х. Рабінович, І.А. Мармут та В.О. Зуєв, Роликові стенди для перевірки гальмівних та тягових властивостей автомобілів (теорія, розрахунок та конструювання). Харків: ХНАДУ, 2009, 344 с.
3. І.А. Мармут, «Розробка науково-методичних основ проектування пересувних станцій діагностики» дис. канд. техн. наук, ХДАДТУ, Харків, 2001.
4. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. [Чинний від 2011-07-01]. Київ, 2011. 28 с. (Держспоживстандарт України).
5. І.А. Мармут, «Вплив зносу шин та деталей гальмівних механізмів на точність стендової перевірки гальм», Збірник наукових праць ХНАДУ «Автомобільний транспорт», № 16, с. 34-38. 2005.
6. ДСТУ 8816:2018. Шини пневматичні для легкових автомобілів та причепів до них. Загальні технічні умови. [Чинний від 2019-10-01]. Київ, 2019. 19 с. (Держспоживстандарт України).

7. І.А. Мармут, «Моделювання процесу гальмування автомобіля на інерційному роликовому стенді» на Міжнародній науково-практичній конференції «Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці», Харків, 2017, с. 155-159.

8. І.А. Мармут, «Математичні моделі стендової діагностики гальмівних систем автомобілів», Науковий журнал Луцького НТУ «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті», №2(11), с. 90-96. 2018.

*Науковий консультант: Мармут Ігор Арнольдович, к.т.н., доц. каф. ІСАТ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.*

Косінов Максим, ст. гр. А-43-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [mia2005.62@ukr.net](mailto:mia2005.62@ukr.net)

## СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ СПРАЦЬОВУВАННЯ НА ІНЕРЦІЙНОМУ РОЛИКОВОМУ СТЕНДІ

Одним із важливих елементів виміральної системи (ВС) інерційного роликового стенду є первинний датчик, від якого залежать метрологічні властивості системи та елементи обробки сигналу. В якості датчика первинних сигналів пропонується використовувати диск з прорізами (обтюратор) і імпульсний фотоелектричний датчик (рис 1).

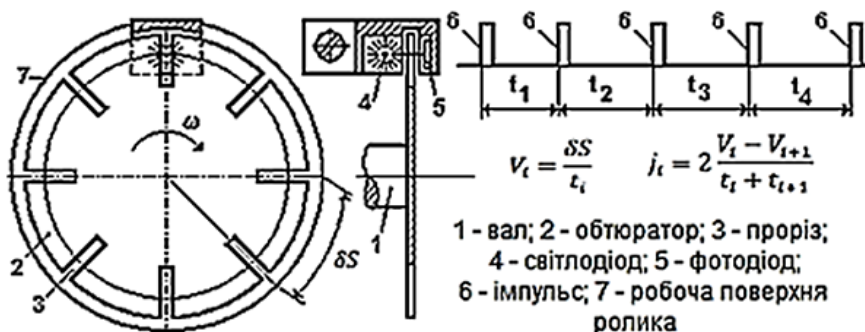


Рисунок 1 – Імпульсно-цифрова ВС роликового стенда ПДС-Л для вимірювання кутової швидкості та прискорення (уповільнення) з фотодатчиком [1]

Спосіб вимірювання уповільнення на інерційному роликовому стенді. Уповільнення ( $j_i^c$ )  $i$ -го колеса (надалі стендове уповільнення) – це середня величина уповільнення за час гальмування.

Для контролю його величини пропонується наступне. Для кожної осі певної марки автомобіля вибирається стабільна ділянка гальмівної діаграми (характеризується сталістю уповільнення), якій відповідає певний діапазон швидкостей ( $V_2 - V_3$ ).

Надалі вважатимемо, що всередині обраного діапазону уповільнення постійно. Тоді його величину,  $m/s^2$ , можна визначити за формулою