

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).

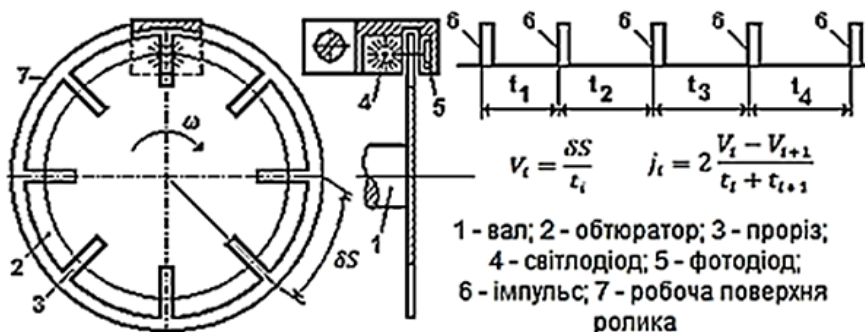


Рисунок 1 – Імпульсно-цифрова ВС роликового стенда ПДС-Л для вимірювання кутової швидкості та прискорення (уповільнення) з фотодатчиком [1]

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, м/с<sup>2</sup>, можна визначити за формулою

$$j_i^c = \frac{V_2 - V_3}{3,6\Delta t_i}, \quad (1)$$

де  $\Delta t_i$  – час зміни швидкості ролика при гальмуванні від  $V_2$  до  $V_3$ , с.

Умовимося називати час зміни швидкості – показником уповільнення  $i$ -го колеса (ПУ<sub>*i*</sub>):  $\Delta t_i = \text{ПУ}_i$ .

Аналіз великої кількості гальмівних діаграм, отриманих під час масових перевірок легкових автомобілів, показав, що доцільно приймати  $V_2 = 27$  км/год, а  $V_3 = 6$  км/год. Таким чином, за допомогою задатчика гальмування з високою точністю встановлюються значення швидкостей  $V_2$  і  $V_3$ , а в ході діагностування фіксується величина ПУ<sub>*i*</sub> електронним секундоміром ВС. За допомогою спеціального генератора заповнюються проміжки між прорізами обтюратора (опорні імпульси).

При досягненні кількості імпульсів між двома сусідніми прорізами, що відповідає початковій установці швидкості  $V_2$  включається електронний секундомір. При падінні швидкості до кінцевого значення  $V_3$  (йому відповідає своє число імпульсів) секундомір вимикається.

З урахуванням прийнятих чисельних значень  $V_2$  і  $V_3$  формула (1) набуде вигляду:

$$j_i^c = 5,833/\text{ПУ}_i. \quad (2)$$

Для постановки діагнозу "придатний – не придатний" можна попередньо розрахувати таблицю нормативних значень (ПУ<sub>*ін*</sub>) для всієї гама автомобілів, що перевіряються (окремо для передньої і задньої осі). В цьому випадку умова працездатності гальмівної системи виразиться наступним чином:  $\text{ПУ}_{i\phi} \leq \text{ПУ}_{iн}$  (ПУ<sub>*iφ*</sub> – фактичне значення показника уповільнення  $i$ -го колеса).

Спосіб вимірювання часу спрацьовування на інерційному роликовому стенді. Для характеристики часу спрацьовування пропонується заміряти різницю часу проходження одного прорізу обтюратора при швидкості, що дорівнює  $V_0$  і через нормативний період часу спрацьовування  $\tau_c$  (за ДСТУ 3649:2010 –  $\tau_c = 0,5$  с).

Якщо гальмівна система справна, через проміжок часу  $\tau_c$  досягається

величина нормативного уповільнення. Умовимося оцінювати його за величиною показника спрацьовування (ПС). Тоді, у загальному вигляді, ПС визначається за формулою

$$ПС = \left| \frac{\Delta S}{V_{0,5}} - \frac{\Delta S}{V_0} \right|, \quad (3)$$

де  $\Delta S$  – шлях, пройдений при повороті ролика на один проріз обтюратора, м;

$V_{0,5}$  – миттєва швидкість через 0,5 с після початку гальмування, м/с;

$V_0$  – початкова швидкість гальмування, м/с.

Шлях, пройдений при повороті ролика на один проріз обтюратора, дорівнює:

$$\Delta S = \frac{\pi \cdot D}{z}, \quad (4)$$

де  $D$  – діаметр ролика, м;

$z$  – число прорізів обтюратора.

Для конкретної конструкції стенда значення формули (3) є постійними величинами. Таким чином, розраховуються нормативні значення  $ПС_{ін}$  для кожної осі за марками автомобілів.

Умова працездатності гальмівної системи за часом спрацьовування виразиться так:  $ПС_{іф} \geq ПС_{ін}$  ( $ПС_{іф}$  – фактичне значення показника спрацьовування  $i$ -го колеса).

Вимірювальна система реєструє значення  $ПС_{іф}$  в такий спосіб. Через 0,5 с після початку гальмування вимірюється миттєва швидкість  $V_{0,5}$  та обчислюється за формулою (3) значення  $ПС_{іф}$ , яке виводиться на відповідний індикатор.

Методика метрологічного контролю каналу вимірювання ПС. ПС за визначенням – це різниця між двома інтервалами часу  $t_{поч}$  і  $t_{кін} = t_2$ .

Перший з інтервалів – це період частоти проходження прорізу обтюратора у момент початку гальмування. Він формується ВС при досягненні окружної швидкості роликів одного із значень, що вибирається оператором: 50, 60, 70 або 80 км/год.

Другий інтервал ( $t_2$ ) вимірюється засобами ВС через 0,5 с після початку гальмування.

Процедура метрологічного контролю ПС, таким чином, повинна

забезпечити метрологічно достовірну імітацію сигналів, формованих фотодатчиками в процесі вимірювання ПС. Метрологічна достовірність імітації може бути забезпечена при виконанні наступних умов:

а) значення початкової частоти імпульсів повинно відповідати одному із значень лінійної швидкості, при якій включається «пневмонога» – пристрій для натискання на гальмівну педаль;

б) період проходження імпульсів фотодатчика  $t_{\text{поч}}$  або імпульсного сигналу, що імітує сигнали фотодатчика, повинен бути відомий наперед, або зміряний у момент початку гальмування зовнішніми вимірювальними приладами;

в) за час, що не перевищує 0,5с – період проходження імпульсного сигналу, що імітує роботу фотодатчиків, повинен змінитися до величини  $t_{\text{кін}}$  і бути відомим з метрологічною точністю;

г) процес метрологічного контролю ПС повинен адекватно імітувати роботу стенду і його вимірювальної системи не тільки в статичному, але і динамічному режимах.

На підставі вищевикладеного процес метрологічного контролю (МК) каналу вимірювання ПС розбивається на декілька стадій, а саме:

МК каналу включення гальма;

МК каналу формування затримки вимірника ПС (каналу, що формує затримку 0,5с);

МК каналу вимірювання величини  $t_{\text{кін}}$  і обчислення ПС у вигляді  $(t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}})$  (слід врахувати, що у фізично реальній системі завжди  $t_{\text{кін}} \geq t_{\text{поч}}$ ).

Для реалізації МК каналу вимірювання ПС необхідно зібрати перевірочну схему, представлену на рис. 2.

Метрологічний контроль каналу вимірювання швидкості включення пристрою натискання на педаль гальма («пневмоноги»). Встановити на генераторі «А» значення частоти вихідного сигналу, рівне 1,05 значення частоти імпульсів обтюратора, відповідної вибраної швидкості початку гальмування.

Амплітуда імпульсу повинна складати 10 В; полярність позитивна; тривалість імпульсу:

$$\tau_i = (0,8 \dots 1,5) \tau_{i.\text{обт.розр.}} \quad (5)$$

де  $\tau_{i.\text{обт.розр.}}$  – розрахункова тривалість імпульсу фотодатчика для вибраної швидкості початку гальмування.

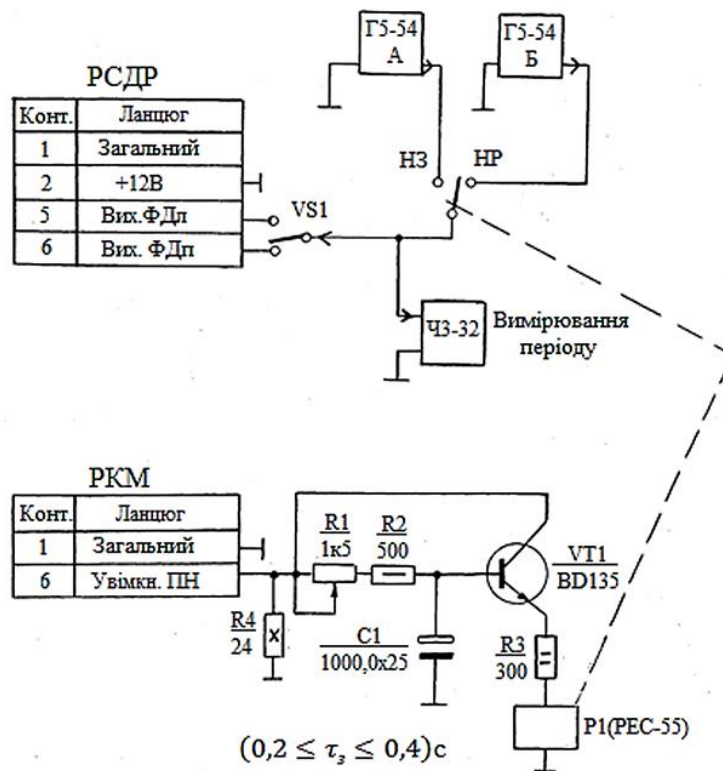


Рисунок 2 – Схема метрологічного контролю каналу ПС [2]

Плавню зменшувати частоту сигналу генератора «А» до моменту включення «пневмоноги». Виконати це для всіх значень початкових швидкостей гальмування.

Для кожного із значень початкової швидкості гальмування розрахувати величини:

$$T_{\text{вим.сер.}} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{\text{вим}i}}{N}, \quad (6)$$

$$\Delta \bar{T} = (T_{\text{розр.}} - T_{\text{вим}})_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^N (T_p - T_{\text{вим}i})}{N}. \quad (7)$$

Величина  $\Delta \bar{T}$  характеризує систематичну похибку каналу включення у вигляді величини, що описує відхилення значення періоду прорізу обтюратора від розрахункового значення для кожної з вибраної швидкості гальмування.

Випадкова складова похибки в цьому випадку містить дві складові: апаратну і методичну, причому зміряти або оцінити їх по окремоті не представляється можливим. Тому оцінку значення випадкової складової похибки каналу включення гальмування проводити по величині СКВ:

$$\sigma_{\Delta T} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \{(T_p - T_{\text{вим}i}) - \Delta \bar{T}\}^2}{N-1}}. \quad (8)$$

Прийняти рішення про придатність до експлуатації каналу включення гальмування. Критерії придатності:

$$\frac{\Delta \bar{T}}{T_p} \leq 0,01; \quad \frac{\sigma_{\Delta T}}{T_p} \leq 0,05. \quad (9)$$

Метрологічний контроль каналу формування затримки 0,5 с (при вимірюванні показника спрацьовування). Процес МК по цьому пункту полягає у вимірюванні величини затримки, яка повинна мати значення:  $t_3 = [(0,500) \pm 0,002] \cdot 10^{-3} \text{с}$ .

Ухвалити рішення про придатність каналу до експлуатації по цьому критерію.

Метрологічний контроль каналу вимірювання величини і обчислення ПС. Виконується у вигляді  $(t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}})$ .

Встановити на генераторі «А» значення однієї з частот, відповідної вибраної початкової швидкості гальмування.

Встановити на генераторі «Б» вибране значення частоти, що забезпечує виконання умови  $0,00014 \leq \left(\frac{1}{f_B} - \frac{1}{f_A}\right) \leq 0,003880$ .

Плавню зменшуючи значення частоти генератора «А» добитися включення каналу гальмування і записати показання приладу ЧЗ і вимірювальної системи після зупинки процесу рахунку.

Розрахувати для кожного значення початкової швидкості гальмування абсолютні і відносні похибки, систематичну і випадкову складові:  $\Delta_c(\text{ПС})$ ,  $\sigma(\text{ПС})$ . Формули для розрахунку метрологічних характеристик каналу вимірювання ПС:

$$\delta(\text{ПС})_i = \frac{\Delta \text{ПС}_i}{\text{ПС}_{\text{ЧЗ-32}}}; \quad (10)$$

$$\Delta(\text{ПС}) = (\text{ПС}_{\text{ЧЗ-32}} - \text{ПС}_{\text{ВС}}); \quad (11)$$

$$\bar{\delta}(\text{ПС}) = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_i(\text{ПС})}{N}; \quad (12)$$

$$\sigma(\text{ПС}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \{\delta(\text{ПС}) - \bar{\delta}(\text{ПС})_i\}^2}{N-1}}; \quad (13)$$

$$\delta_\sigma(\text{ПС}) = \frac{\sigma(\text{ПС})}{\text{ПС}_{\text{ЧЗ-32}}}. \quad (14)$$

Прийняти рішення про придатність до експлуатації каналу вимірювання ПС. Критерії придатності:

$$|\Delta(\text{ПС})| \leq 5 \cdot 10^{-6} \text{ с}; \quad \sigma(\text{ПС}) \leq 3 \cdot 10^{-6}. \quad (15)$$

Запропонована методика реєстрації параметрів стану гальмівної системи на роликовому стенді дозволяє за допомогою одного первинного датчика швидкості оцінювати ефективність робочої гальмівної системи відповідно до вимог стандарту.

### Література

1. Говорущенко М.Я., Волков В.П., Рабінович Е.Х., Мармут І.А., Зуєв В.О. (2009). Роликові стенди для перевірки гальмівних та тягових властивостей автомобілів (теорія, розрахунок та конструювання): монографія. Харків: ХНАДУ, 344 с.
2. Мармут, І., & Шестов, С. (2025). Удосконалення методики перевірки каналів вимірювання гальмівних параметрів автомобілів на інерційному роликовому стенді. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 1(24), 273-283. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i24.1733>.
3. Володарський Є.Т., Потоцький І.О. (2019). Забезпечення метрологічної надійності вимірювань. Вимірювальна техніка та метрологія, 80(3), 5-9. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.03.005>.
4. 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.
5. 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.
6. І.А. Мармут, «Розробка науково-методичних основ проектування пересувних станцій діагностики» дис. канд. техн. наук, ХДАДТУ, Харків, 2001.
7. 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).
8. 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.
9. 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).

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

Кукленко Дмитро, гр А-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [Kuklenkodima89@gmail.com](mailto:Kuklenkodima89@gmail.com)

## ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ