

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБТ

УДК 629.3.018.7

А.І. Коробко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ДВОХ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ

Наведено результати експериментального дослідження вимірювальної системи, що складається з двох датчиків лінійного прискорення і обчислювального блока. Визначено похибку вимірювання швидкості руху автомобіля. Встановлено оптимальну кількість заїздів при визначенні коефіцієнта аеродинамічного опору дорожнім методом.

Ключові слова: вимірювальна система, акселерометр, похибка, адекватність математичної моделі

Вступ

Кваліметричні випробування автомобілів потребують застосування мобільних обчислювальних комплексів, які дозволяють без втручання в конструкцію автомобіля здійснювати визначення його кінематичних і динамічних параметрів.

У даній статті наведено результати експериментального дослідження дослідної вимірювальної системи, що складається із двох датчиків лінійного прискорення (акселерометрів) і обчислювального блока.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Для практичної реалізації методу випробувань автомобілів – методу парціальних прискорень [1] – розроблено вимірювальну систему, яка складається із двох акселерометрів і обчислювального блока, в якому інформація, що поступає з акселерометрів, обробляється, візуалізується і зберігається [2, 3]. Ця вимірювальна система дозволяє вимірювати такі параметри руху: кутове прискорення ε , кутова швидкість ω , координата центру пружності автомобіля (поліус повороту) X_A , миттєвий радіус повороту R_D , лінійна швидкість руху v_D .

Лінійна швидкість вимірюється без застосування інтегрування і може бути визначена в будь-який момент часу. Схема вимірювання зображена (рис. 1).

На основі вказаної вимірювальної системи було розроблено методи визначення компонент аеродинамічного опору руху автомобіля в дорожніх умовах [4, 5].

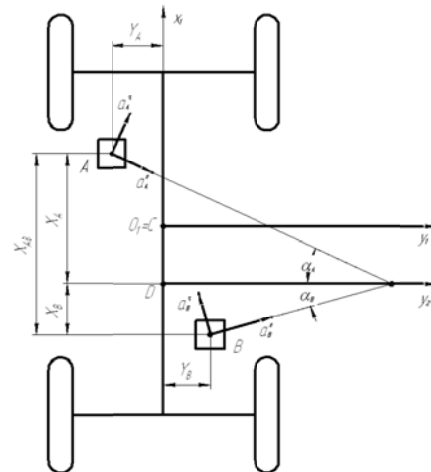


Рис. 1. Схема вимірювання параметрів руху автомобіля

Мета і постановка задач дослідження

Метою даного дослідження є експериментальна перевірка можливості вимірювання параметрів руху і компонент сили опору руху автомобіля вимірювальною системою на основі двох акселерометрів.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- експериментально визначити систематичну похибку вимірювання швидкості руху автомобіля;
- визначити коефіцієнт аеродинамічного опору руху автомобіля методом парціальних прискорень.

Систематична похибка вимірювання швидкості руху автомобіля

Систематична похибка вимірювання швидкості руху автомобіля визначається як похибка непрямого вимірювання згідно з [6]. Вхідними даними для

розрахунку похибки є дані, отримані з акселерометрів, і дані щодо координат розташування датчиків прискорення в автомобілі. Не виключена систематична похибка вимірювання параметрів руху розробленою вимірювальною системою [2]:

– кутового прискорення:

$$\Delta\varepsilon = \frac{0,01\delta\alpha}{Y_{AB}^2 + X_{AB}^2} \sqrt{Y_{AB}^2(a_{x_{y1}}^2 + a_{x_{y1}}^2) + X_{AB}^2(a_{y_{x1}}^2 + a_{y_{x1}}^2)}, \quad (1)$$

– кутової швидкості:

$$\Delta\omega = 0,005 \frac{\delta\alpha}{\omega(Y_{AB}^2 + X_{AB}^2)} \sqrt{Y_{AB}^2(a_{x_{y1}}^2 + a_{x_{y1}}^2) + X_{AB}^2(a_{y_{x1}}^2 + a_{y_{x1}}^2)}, \quad (2)$$

– координати полюсу повороту:

$$\Delta X_A = \sqrt{\delta\alpha^2 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\varepsilon^2(a_{x_{y1}}^2 + a_{x_{y1}}^2) + \omega^4(a_{x_{y1}}^2 + a_{x_{y1}}^2)}{4(\varepsilon^2 + \omega^4)^2} \right] + 0,25\Delta l^2}, \quad (3)$$

– миттєвого радіуса повороту:

$$\Delta R_D = \sqrt{\delta\alpha^2 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\varepsilon^2(a_{x_{y1}}^2 + a_{x_{y1}}^2) + \omega^4(a_{x_{y1}}^2 + a_{x_{y1}}^2)}{4(\varepsilon^2 + \omega^4)^2} \right] + 0,5\Delta l^2}, \quad (4)$$

– лінійної швидкості

$$\Delta v_D = |R_D| \Delta\omega + |\omega| \Delta R_D. \quad (5)$$

де Y_{AB} , X_{AB} – координати розташування акселерометрів в автомобілі (рис. 1);

Δl , $\delta\alpha$ – абсолютна похибка вимірювання координат розташування датчиків прискорення і відносна похибка вимірювання лінійного прискорення відповідно;

$a_{x_{y1}}$, $a_{y_{x1}}$, $a_{x_{y1}}$, $a_{y_{x1}}$ – прискорення точок, в яких установлені акселерометри вздовж координатних осей відповідно.

У ході експерименту вибирались наступні режими руху: розгін, прямолінійний рух, поворот на дорозі із радіусом заокруглення 200 м, гальмування. Значення систематичної похибки вимірювання швидкості не перевищило 1,13%. Це за умов, що похибка прямого вимірювання лінійного прискорення складала 1%. При розрахунку швидкості руху шляхом інтегрування поздовжнього прискорення було накопичено значну похибку (рис. 2).

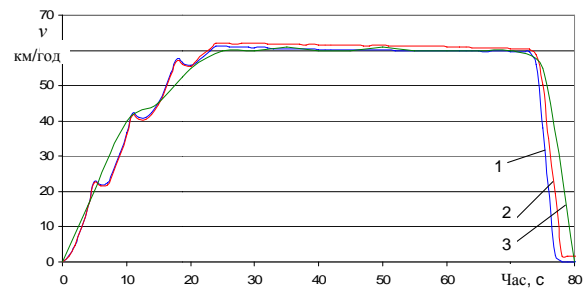


Рис. 2. Швидкість руху автомобіля:

- 1 – виміряна дослідною вимірювальною системою;
2 – розрахована шляхом інтегрування поздовжнього прискорення;
3 – виміряна штатним спідометром автомобіля

Визначення компонент сили опору руху

Відповідно до плану експерименту автомобіль розганявся до швидкості 100 км/год.; від'єднувалась трансмісія від двигуна, і подальший рух здійснювався накатом (вибіг). Вимірювальна система реєструвала поздовжнє і бокове прискорення точок в яких установлені акселерометри, з частотою 30 раз за секунду. Обробка даних полягала у визначенні коефіцієнта аеродинамічного опору автомобіля C_x і коефіцієнта сумарного дорожнього опору ψ [4].

Результати статистичної обробки даних експерименту для автомобіля ЗАЗ-110307 «Славути» наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати визначення коефіцієнта аеродинамічного опору і коефіцієнта сумарного дорожнього опору

№ заїзду	$v_n \dots v_k$, км/год	\overline{kF}	v_{kF}	C_x	$\overline{\psi}$	v_ψ
1	100...0	0,46	13,64	0,41	0,03	10,3
	100...20	0,45	8,54	0,40	0,03	6,76
2	100...0	0,47	13,70	0,42	0,033	11,1
	100...20	0,46	8,66	0,41	0,032	6,98

На малих швидкостях руху (менше 20 км/год.) спостерігається великий розкид даних. Тому при проведенні експериментів з визначення коефіцієнта аеродинамічного опору слід вибирати швидкість вибігу від максимальної до 20 км/год.

Завод-виробник автомобіля ЗАЗ-110307 «Славути» в технічній документації указує значення коефіцієнта аеродинамічного опору 0,375 (0,41 в результаті експерименту). Така різниця пояснюється відмінністю методів випробувань (дорожні випробування максимально наближені до умов експлуатації).

Застосування методу паралельних спостережень [7] при практичному дослідженні динаміки автомобілів дозволяє виключити випадкову похибку з результату вимірювання.

Вимірвальна система складалась із 3 акселерометрів (одночасно проводилось 3 спостереження). Схема установки показана (рис. 3).

Режим руху та умови вимірювання такі самі, як і в попередньому експерименті.

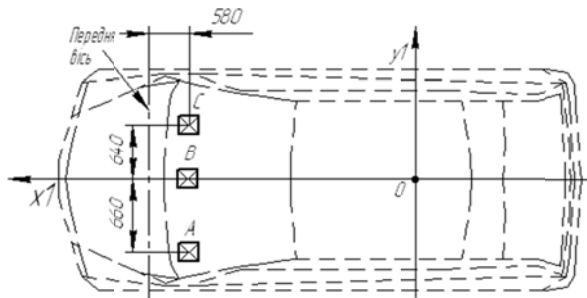


Рис. 3. Схема установки акселерометрів на автомобіль при вимірюванні методом паралельних спостережень

У результаті було отримано цікавий результат. Коефіцієнт аеродинамічного опору залежить від швидкості руху. Така теорія була висловлена ще в кінці 20-х років минулого століття [8]. Але для спрощення розрахунків для автомобілів за всіма діапазонами швидкостей приймали квадратичну залежність швидкості при розрахунку сили аеродинамічного опору.

У результаті випробувань отримані значення коефіцієнта C_x для різних швидкостей (рис. 4 – середнє значення для чотирьох заїздів).

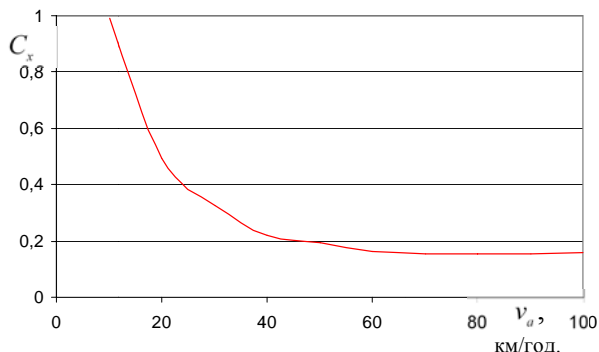


Рис. 4. Експериментальна залежність $C_x(v_a)$

Вид кривої залежності коефіцієнта аеродинамічного опору від швидкості руху дозволяє зробити висновок про апроксимацію її гіперболічною функцією:

$$\hat{C}_x = \frac{C_{x_0}}{v_a^n}, \quad (6)$$

де C_{x_0} – величина лобового коефіцієнта аеродинамічного опору при $v_a = 1$ м/с.

Адекватність математичної моделі [5] перевірялась шляхом співставлення дисперсії відтворюваності середнього значення функції відгуку $\sigma^2(y)$ і дисперсії адекватності математичної моделі σ_a^2 за

допомогою критерію F-розподілу Фішера. Оцінка адекватності проводилась для чотирьох заїздів (по два в протилежних напрямках), двох заїздів (по одному в протилежних напрямках), одного заїзду.

Було встановлено, що при використанні трьох акселерометрів необхідно проводити мінімум два заїзди, так як при одному заїзді не виконується умова однорідності дисперсій за усіма діапазонами швидкостей. Приводом є великий розкид даних на малих швидкостях. Заїзд у протилежному напрямі виключає цей недолік. Середня відносна похибка визначення коефіцієнта аеродинамічного опору склала: для трьох заїздів – 5,75%, шести – 5,25%, дванадцяти – 5,52%.

Висновки

1. Проведені експериментальні дослідження вимірвальної системи на основі двох акселерометрів підтвердили можливість її використання при динамічних (кваліметричних) випробуваннях. Розроблена вимірвальна система [2], методи вимірювання [3, 7] і методи випробування [4, 5] можуть стати основою для створення державних стандартів в галузі випробувань автотранспортних засобів.

2. Розроблений метод визначення параметрів сили опору руху автомобіля при практичному застосуванні дає хороший статистичний результат, що підтверджується числовим значенням коефіцієнта варіації.

3. Застосування методу паралельних спостережень дозволяє виключити випадкову похибку із результату вимірювання. Із збільшенням швидкості коефіцієнт аеродинамічного опору зменшується, що свідчить про необхідність застосування відмінної від квадратичної залежності швидкості при визначенні сили аеродинамічного опору.

Список літератури

1. Метод парціальних ускорень при исследовании динамики мобильных машин / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, О.П. Алексеев, В.П. Волков, М.А. Подригало, А.С. Полянскій // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 1. – С. 16-18.
2. Пат.51031 Україна, МПК G 01 P 3/00. G 01 P 15/00. Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних (кваліметричних) випробуваннях / М.А. Подригало, А.І. Коробко, Д.М. Клец, В.Л. Файст; заявник – Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № у 2010 01136; заявл. 04.02.10; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.
3. Подригало М. Підвищення точності вимірювання параметрів руху автомобіля у процесі динамічних випробувань / М. Подригало, А. Коробко, Д. Клец, О. Назарько, В. Гацько // Метрологія та прилади. – 2010. – № 3. – С. 49-52.
4. Коробко А. Определение коэффициента суммарного дорожного сопротивления и фактора обтекаемости автомобиля методом выбега / А.И. Коробко, О.А. Назарько, А.Н. Мостовая // Новітні технології – для захисту повітряного простору: шоста наукова конференція Харківського університету повітряних сил імені Івана Кожедуба, 14-15 квітня 2010 р. : тези доповідей. – Харків, 2010. – С. 167.

5. Подригало М.А. Удосконалення методу визначення компонентів сили опору руху автомобіля / М.А. Подригало, А.І. Коробко, Д.М. Клец, А.М. Мостова // *Механіка та машинобудування: Науково-технічний журнал*. – 2011. – № 1. – С. 123-128.

6. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей: МИ 2083-90. – [Дата введения 01.01.1992]. – М.: КОМИТЕТ СТАНДАРТИЗАЦИИ И МЕТРОЛОГИИ СССР, 1991. – 6 с. – (Рекомендация).

7. Коробко А. Застосування методу паралельних спостережень при випробуваннях автомобілів / М. Подригало, О. Полянський, Д. Клец, А. Коробко, А. Мостова // *Вісник Тернопільського національного технічного університету. Науковий журнал*. – 2011. – Том 16 № 1. – С. 57–62.

8. Техническая энциклопедия. В 2 томах [Под ред. Л.К. Мартенс]. – М. : АО «Советская энциклопедия», 1928.

Рецензент: д.т.н., проф., М.А. Подригало, завідувач кафедри технології машинобудування і ремонту машин ХНАДУ, м. Харків.

Экспериментальное исследование измерительной системы на основе двух датчиков

А.И. Коробко

Представлены результаты экспериментального исследования измерительной системы, состоящей из двух датчиков линейных ускорений и вычислительного блока. Определена погрешность измерения скорости движения автомобиля. Установлено оптимальное количество заездов при определении коэффициента аэродинамического сопротивления дорожным методом.

Ключевые слова: экологическая опасность, химическое загрязнение, авария, химическое производство, локализация последствий.

Experimental research of measuring system based on two accelerometers

A. Korobko

Results of an experimental research of measuring system which consists of two linear accelerometers and the computing block are given. An error of measurement of speed of movement of the car is defined. The optimum quantity of arrivals at definition aerodynamic drag coefficient by a road method is established.

Keywords: environmental hazards, chemical pollution, accident, chemical production, effects localization.