

УДК 629.017



О. В. Літвінов

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПОРУ РУХУ СПЕЦІАЛЬНОЇ КОЛІСНОЇ ТЕХНІКИ В ДОРОЖНІХ УМОВАХ

*Розроблено метод визначення параметрів опору руху спеціальної колісної техніки та його складових: сумарного коефіцієнта дорожнього опору та коефіцієнта аеродинамічного опору, з використанням мікропроцесорного комплексу. Запропонований метод дозволяє визначати швидкість з високою точністю та довільно встановлювати датчики прискорення в площині дороги.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* коефіцієнт дорожнього опору, коефіцієнт аеродинамічного опору, мікропроцесорний комплекс, спеціальна колісна техніка.

**Постановка проблеми.** Визначення параметрів опору руху автомобіля та його складових є важливими завданнями теорії автомобіля [1, 2]. Досліджуючи властивості колісної техніки, доводиться зіставляти результати розрахунку і експерименту, для чого треба знати реальні величини опору коченню і опору повітря в кожному конкретному випадку [3]. На етапі випробувань також потрібно точно визначати показники динамічності для підтвердження заявлених тактико-технічних характеристик спеціальної колісної техніки. Таким чином, актуальним питанням є вдосконалення методів вимірювання параметрів опору руху, особливо їх варіантів, які не потребують складного або надмірно коштовного обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Коефіцієнт аеродинамічного опору (або фактор обтічності) звичайно визначають в аеродинамічних трубах, а опір коченню – на стендах з біговими барабанами. Вказані методи потребують значної витрати коштів, при цьому вони лише імітують реальні умови руху. Реальні умови експлуатації моделюються при використанні методу вибігу [4, 5], який дозволяє визначити середні за довжиною вибігу автомобіля показники дорожнього і аеродинамічного опору. Метод одноразового вибігу складний та трудомісткий і потребує спеціального устаткування [4, 6]. Більш простим і доступним є метод дворазового вибігу [4, 6]. Але зазначені методи не дозволяють розділити опір коченню і опір аеродинамічної сили [2].

Автори праці [3] пропонують у режимі вибігу автомобіля на різних швидкостях оцінити уповільнення, а потім за раніше виведеними формулами знайти коефіцієнт опору повітря і коефіцієнт опору коченню:

$$C_x = \frac{2 \cdot \beta \cdot m \cdot (\dot{V}_1 - \dot{V}_2 \cdot K_V)}{F \cdot \rho \cdot (V_1^2 - V_2^2 \cdot K_V)}; \quad (1)$$

$$\psi = \frac{\beta \cdot (\dot{V}_2 \cdot V_1^2 - \dot{V}_1 \cdot V_2^2)}{g \cdot (V_1^2 - V_2^2 \cdot K_V)}, \quad (2)$$

де  $\rho$  – густина повітря;  $F$  – площа лобового перерізу автомобіля;  $m$  – маса автомобіля;  $\beta$  – коефіцієнт урахування обертових мас автомобіля;  $K_V$  – коефіцієнт урахування впливу швидкості на опір кочення;  $\dot{V}_i$ ,  $V_i$  – прискорення та швидкість автомобіля у  $i$ -й момент часу.

Недолік вказаного методу – необхідність попереднього визначення коефіцієнта врахування впливу швидкості на опір кочення.

Отже, потрібні подальші дослідження.

**Метою статті** є розроблення методу визначення параметрів опору руху спеціальної колісної техніки та його складових з використанням мікропроцесорного комплексу. Для досягнення



поставленої мети необхідно визначити параметри дорожнього та аеродинамічного опору спеціальної колісної техніки.

*Визначення дорожнього та аеродинамічного опору спеціальної колісної техніки.* Для вирішення поставленої задачі доцільно використати метод парціальних прискорень [1]. Рівняння руху автомобіля має такий вигляд:

$$m \cdot \dot{V} = P_K - \sum P_{\text{он}}, \quad (3)$$

де  $P_K$  – тягова сила;  $\sum P_{\text{он}}$  – сумарна сила опору руху.

$$\sum P_{\text{он}} = m \cdot g \cdot \psi + k \cdot F \cdot V^2, \quad (4)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\psi = f \pm i$  – сумарний коефіцієнт дорожнього опору;  $k$  – коефіцієнт опору повітря;  $f$  – коефіцієнт дорожнього опору;  $i$  – величина поздовжнього ухилу шляху.

У режимі руху накатом тягова сила дорівнює нулю і вираз (3) з урахуванням формули (4) набере такого вигляду [2]:

$$m \cdot \dot{V} = -(m \cdot g \cdot \psi + k \cdot F \cdot V^2). \quad (5)$$

За допомогою мікропроцесорного комплексу на основі акселерометрів можна визначити лінійні прискорення та швидкість автомобіля у моменти часу  $t_1$  та  $t_2$  з кроком  $\Delta t$ . У такому разі рівняння (5) для вимірювання параметрів буде розгорнуто у систему двох рівнянь [2]:

$$\begin{cases} \dot{V}_1 = -g \cdot \psi - \frac{k \cdot F}{m} \cdot V_1^2; \\ \dot{V}_2 = -g \cdot \psi - \frac{k \cdot F}{m} \cdot V_2^2. \end{cases} \quad (6)$$

$$\quad (7)$$

Спільне розв'язання рівнянь (6) і (7) дозволяє визначити параметри  $\psi$  та  $k \cdot F$ :

$$\psi = \frac{1}{g} \cdot \left( \frac{\dot{V}_1 \cdot V_2^2 - \dot{V}_2 \cdot V_1^2}{V_1^2 - V_2^2} \right); \quad (8)$$

$$\frac{k \cdot F}{m} = \frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{V_2^2 - V_1^2}. \quad (9)$$

Коефіцієнт аеродинамічного опору автомобіля визначається з відомої залежності

$$C_x = \frac{2 \cdot k}{\rho}. \quad (10)$$

З урахуванням формули (9) вираз (10) подано у такому вигляді:

$$C_x = \frac{2}{\rho} \cdot \frac{m}{F} \cdot \frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{V_2^2 - V_1^2}. \quad (11)$$

На рисунку показана схема, що дозволяє визначити параметри опору руху, використовуючи лінійні прискорення та швидкість руху спеціальної колісної техніки.

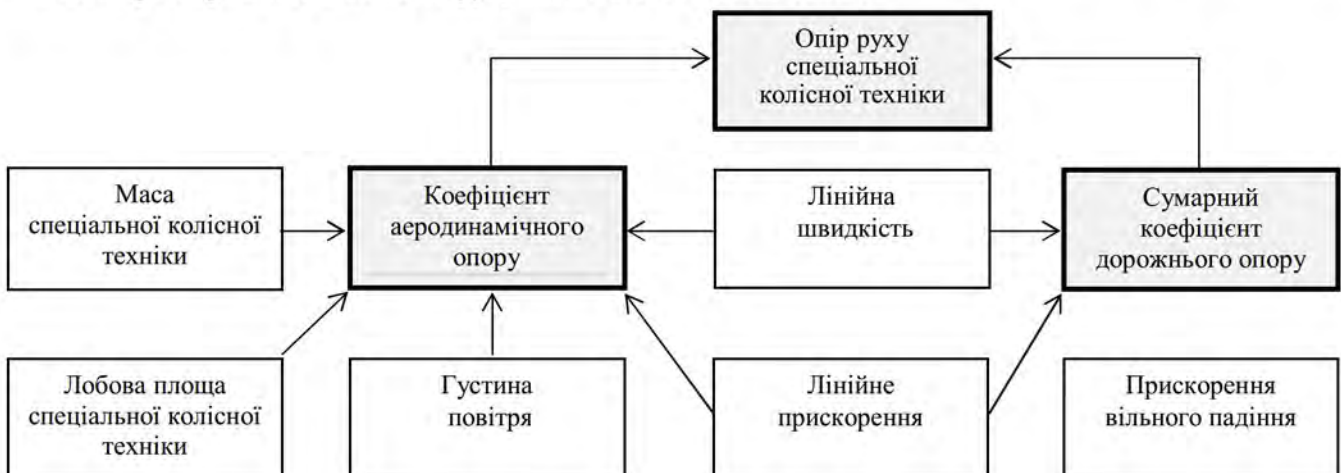


Схема визначення параметрів опору руху спеціальної колісної техніки в дорожніх умовах за допомогою мікропроцесорного комплексу

У випадку, коли швидкість руху неможливо визначити з потрібною точністю, її необхідно обчислювати через кутові величини та миттєвий радіус повороту, як показано у працях [7, 8], де запропонована схема для визначення кінематичних параметрів транспортних засобів при довільній установці датчиків у площині дороги, за якою можна визначити кутову швидкість, кутове прискорення та радіус повороту:

$$\varepsilon = \frac{(\dot{V}_A^X - \dot{V}_B^X) \cdot (Y_B - Y_A) + X_{AB} \cdot (\dot{V}_A^Y - \dot{V}_B^Y)}{(Y_B - Y_A)^2 + X_{AB}^2}; \quad (12)$$

$$\omega = \operatorname{sgn} \sqrt{\frac{(\dot{V}_A^Y - \dot{V}_B^Y) \cdot (Y_B - Y_A) + X_{AB} \cdot (\dot{V}_A^X - \dot{V}_B^X)}{(Y_B - Y_A)^2 + X_{AB}^2}}; \quad (13)$$

$$R = \frac{\varepsilon \cdot \dot{V}_A + \omega^2 \cdot \dot{V}_B}{\varepsilon^2 + \omega^4} + 0,5 \cdot Y_{AB}, \quad (14)$$

де  $Y_A, Y_B$  – координати встановлення датчиків прискорення;  $X_{AB}, Y_{AB}$  – відстань між датчиками у поздовжній та бічній площинах відповідно.

Лінійну швидкість визначимо як добуток кутової швидкості та радіуса повороту транспортного засобу. Використовуючи рівняння (12–14), отримаємо

$$V = \omega \cdot \left[ \frac{\varepsilon \cdot \dot{V}_A + \omega^2 \cdot \dot{V}_B}{\varepsilon^2 + \omega^4} + \frac{Y_{AB}}{2} \right]. \quad (15)$$

Отримані з мікропроцесорного комплексу дані у моменти часу  $t_1$  і  $t_2$  з кроком  $\Delta t$  дозволяють розгорнути вираз (15) у систему двох рівнянь:

$$\left\{ V_1 = \omega_1 \cdot \left[ \frac{\varepsilon_1 \cdot \dot{V}_{1A} + \omega_1^2 \cdot \dot{V}_{1B}}{\varepsilon_1^2 + \omega_1^4} + 0,5 \cdot Y_{AB} \right]; \quad (16) \right.$$

$$\left. V_2 = \omega_2 \cdot \left[ \frac{\varepsilon_2 \cdot \dot{V}_{2A} + \omega_2^2 \cdot \dot{V}_{2B}}{\varepsilon_2^2 + \omega_2^4} + 0,5 \cdot Y_{AB} \right]. \quad (17) \right.$$

Вираз (8) перетворимо на такий:

$$\psi = \frac{1}{g} \cdot \left[ \frac{\dot{V}_1^X \cdot \omega_2^2 \cdot \left( \frac{\varepsilon_2 \cdot \dot{V}_{2A} + \omega_2^2 \cdot \dot{V}_{2B}}{\varepsilon_2^2 + \omega_2^4} + \frac{Y_{AB}}{2} \right) - \dot{V}_2^X \cdot \omega_1^2 \cdot \left( \frac{\varepsilon_1 \cdot \dot{V}_{1A} + \omega_1^2 \cdot \dot{V}_{1B}}{\varepsilon_1^2 + \omega_1^4} + \frac{Y_{AB}}{2} \right)}{\omega_1^2 \cdot \left( \frac{\varepsilon_1 \cdot \dot{V}_{1A} + \omega_1^2 \cdot \dot{V}_{1B}}{\varepsilon_1^2 + \omega_1^4} + \frac{Y_{AB}}{2} \right) - \omega_2^2 \cdot \left( \frac{\varepsilon_2 \cdot \dot{V}_{2A} + \omega_2^2 \cdot \dot{V}_{2B}}{\varepsilon_2^2 + \omega_2^4} + \frac{Y_{AB}}{2} \right)} \right]. \quad (18)$$

Коефіцієнт аеродинамічного опору визначимо за такою залежністю:

$$C_x = \frac{2 \cdot m}{\rho \cdot F} \cdot \frac{\dot{V}_1^X - \dot{V}_2^X}{\omega_2^2 \cdot \left( \frac{\varepsilon_2 \cdot \dot{V}_{2A} + \omega_2^2 \cdot \dot{V}_{2B}}{\varepsilon_2^2 + \omega_2^4} + \frac{Y_{AB}}{2} \right) - \omega_1^2 \cdot \left( \frac{\varepsilon_1 \cdot \dot{V}_{1A} + \omega_1^2 \cdot \dot{V}_{1B}}{\varepsilon_1^2 + \omega_1^4} + \frac{Y_{AB}}{2} \right)}. \quad (19)$$

Вирази (18) та (19) є основою вдосконаленого методу вимірювання параметрів опору руху, що не потребує складного або надмірно коштовного обладнання. Похибка вимірювання параметрів руху акселерометром мікропроцесорного комплексу не перевищує  $\pm 3\%$ .

## Висновки

1. Розроблено метод визначення компонентів опору руху спеціальної колісної техніки та його складових: сумарного коефіцієнта дорожнього опору та коефіцієнта аеродинамічного опору, з використанням мікропроцесорного комплексу, в якому вимірювальною апаратурою є лише датчики лінійних прискорень.

2. Запропонований метод, на відміну від відомих, дозволяє визначати швидкість з високою точністю, довільно встановлювати датчики у площині дороги та не потребує складного або надмірно коштовного обладнання. Похибка вимірювання параметрів руху акселерометром мікропроцесорного комплексу не перевищує  $\pm 3\%$ .



**Список використаних джерел**

1. Метод парціальних прискорень и его приложения в динамике мобильных машин [Текст] / Н. П. Артемов, А. Т. Лебедев, М. А. Подригало и др. – Х. : Міськдрук, 2012. – 220 с.
2. Метод визначення сумарної сили опору руху автомобіля за допомогою датчиків лінійних прискорень [Текст] / М. А. Подригало, А. І. Коробко, Д. М. Клец, О. О. Назарько // Наукові нотатки Луцького національного технічного університету: міжвузівський зб. – Луцьк : ЛНТУ, 2010. – Вип. 78. – С. 432–434.
3. Рабинович, Э. Х. Расчет коэффициентов сопротивления движению автомобиля по пути выбега [Текст] / Э. Х. Рабинович, В. П. Волков, Е. А. Белогуров // Вестник ХНАДУ. – Х. : ХНАДУ, 2009. – № 44. – С. 30–35.
4. BOSH [Текст] : автомоб. справ. : пер. с англ. – М. : Изд-во АН СССР, 1945. – 144 с.
5. Янте, А. Механика движения автомобиля [Текст] / А. Янте. – М. : Гостехиздат, 1958. – 263 с.
6. Петрушов, В. А. Мощностной баланс автомобиля [Текст] / В. А. Петрушов, В. В. Москвин, А. Н. Евграфов. – М. : Машиностроение, 1984. – 160 с.
7. Метрологічне забезпечення динамічних випробувань шляхово-транспортних машин [Текст] / М. А. Подригало, А. І. Коробко, Д. М. Клец, В. І. Гацько // Тракторна енергетика в рослинництві : вісн. Харк. нац. техн. ун-ту сільського госп-ва ім. П. Василенка. – Х. : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2009. – Вип. 89. – С. 87–99.
8. Клец, Д. М. Метод определения параметров движения средств транспорта с помощью датчиков ускорений [Текст] / Д. М. Клец, Е. А. Дубинин // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х. : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2014. – Вип. 151. – С. 373–378.

*Стаття надійшла до редакції 29.05.2017 р.*

**УДК 629.017**

**А. В. Литвинов**

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ СПЕЦИАЛЬНОЙ КОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ В ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ**

*Разработан метод определения параметров движения специальной колесной техники и его составляющих – суммарного коэффициента дорожного сопротивления и коэффициента аэродинамического сопротивления с использованием микропроцессорного комплекса. Предложенный метод учитывает особенности изготовления и применения специальной колесной техники.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а: коэффициент дорожного сопротивления, коэффициент аэродинамического сопротивления, микропроцессорный комплекс, специальная колесная техника.*

**UDC 629.017**

**O. V. Litvinov**

**THE METHOD OF DETERMINING OF THE OF RESISTANCE FORCE TO THE MOVEMENT OF WHEELED SPECIAL PURPOSE VEHICLES IN CERTAIN TERRAIN CONDITIONS**

*The methods of determining parameters of moving of wheeled special purpose vehicles and it's components – combined coefficient of road resistance and drag resistance force was invented with use of computerized complex. Offered method considers the aspects of manufacturing of the wheeled special purpose vehicles.*

*К e y w o r d s: coefficient of road resistance, coefficient drag resistance, computerized complex, special purpose vehicles.*

**Літвінов Олексій Володимирович** – ад'юнкт Національної академії Національної гвардії України.