

629.017

М.А.Подригало, А.І.Коробко, Д. М.Клец, О.О.Назарько, А.М.Мостова  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

### МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОЇ СИЛИ ОПОРУ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАТЧИКІВ ЛІНІЙНИХ ПРИСКОРЕНЬ

*В роботі запропоновано метод визначення опору коченню і фактора обтічності автомобіля за допомогою датчиків лінійних прискорень.*

Ключові слова: *опір коченню, фактор обтічності, вибіг, вибірка.*

#### Вступ

Визначення сумарної сили опору руху автомобіля, а також її складових, таких як опір коченню і фактор обтічності, є важливими задачами теорії автомобіля. В даній статті запропоновано спосіб визначення указаних параметрів методом парціальних прискорень за допомогою датчиків лінійних прискорень.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Фактор обтічності визначають в аеродинамічних трубах. Опір коченню визначають на стендах з біговими барабанами великого діаметра. Це досить точний метод вимірювання, але він лише імітує реальні умови руху. Дорожнім методом суму опорів визначають методом однократного і двократного вибігу [1, 2]. Метод однократного вибігу потребує спеціального обладнання, складний і трудомісткий. Більш простим і доступним є метод двократного вибігу.

Але указані методи не дозволяють розділити опір коченню і опір аеродинамічної сили.

В [3] було запропоновано визначати параметри руху мобільних машин на прикладі машинно-тракторного агрегату методом парціальних прискорень. Цей метод дозволяє визначати окремо складові сили опору руху.

Мета і постановка задач дослідження

Метою дослідження є визначення сили опору та її складових, таких як опір коченню і фактор обтічності автомобіля за допомогою методу парціальних прискорень з виростанням датчиків лінійних прискорень. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступну задачу:

- визначити опір коченню і фактор обтічності автомобіля за допомогою датчиків лінійних прискорень.

Визначення сумарної сили опору руху автомобіля та її складових

Рівняння руху автомобіля має вид

$$m_a \dot{v}_a = P_k - \sum P_c, \quad (1)$$

де  $m_a$  – маса автомобіля, кг;  $\dot{v}_a$  – лінійне прискорення автомобіля, м/с<sup>2</sup>;  $P_k$  – тягова сила на колесі, Н;  $\sum P_c$  – сумарна сила опору руху, Н:

$$\sum P_c = m_a g \psi + k F v_a^2, \quad (2)$$

$v_a$  – швидкість руху автомобіля, м/с;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $\psi$  – коефіцієнт сумарного дорожнього опору;  $kF$  – фактор обтічності ( $k$  – коефіцієнт опору повітря,  $F$  – лобова площа автомобіля).

В режимі руху накатом (вибіг) тягова сила  $P_k$  рівняється нулю і вираз (1) матиме вид з урахуванням (2)

$$m_a \dot{v}_a = - (m_a g \psi + k F v_a^2) \quad (3)$$

або

$$\dot{v}_a = -g \psi - \frac{kF}{m_a} v_a^2. \quad (4)$$

Тобто прискорення  $\dot{v}_a$  буде від'ємним.

Використовуючи датчики прискорень і програму обробки результатів вимірювань [4], що дозволяють визначити лінійні прискорення  $\dot{v}_a$  і швидкість  $v_a$  автомобіля, достатньо провести вимірювання в моменти часу  $t_1$  і  $t_2$ .

Рівняння (4) для вимірювань параметрів в моменти часу  $t_1$  і  $t_2$  буде розвернуто в систему двох рівнянь:

$$\dot{v}_a(t_1) = -g\psi - \frac{kF}{m_a} [v_a(t_1)]^2; \quad (5)$$

$$\dot{v}_a(t_2) = -g\psi - \frac{kF}{m_a} [v_a(t_2)]^2. \quad (6)$$

Розв'язуючи сумісно рівняння (5) і (6), можна визначити параметри  $\psi$  і  $\frac{kF}{m_a}$ :

$$\psi = \frac{1}{g} \left\{ \frac{\dot{v}_a(t_2)}{[v_a(t_2)/v_a(t_1)]} - v_a(t_1) \left[ \frac{1}{[v_a(t_2)/v_a(t_1)]} \right] \right\}; \quad (7)$$

$$kF = m_a \frac{\dot{v}_a(t_1) - \dot{v}_a(t_2)}{[v_a(t_2)]^2 - [v_a(t_1)]^2}. \quad (8)$$

Проводячи послідовну попарну обробку даних в парі точок з кроком  $\Delta t = t_2 - t_1$ ,

отримаємо масив значень  $\psi$  і  $\frac{kF}{m_a}$ .

Об'єм масиву даних, що визначається вибором кроку  $\Delta t$  і тривалістю періоду руху накатом, дозволяє провести їх статистичну обробку, тобто отримати середні величини і середньоквадратичні відхилення:

$$\bar{\psi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi_i, \quad (9)$$

$$\overline{\frac{kF}{m_a}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{kF}{m_a} \right)_i, \quad (10)$$

$$\sigma_\psi = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\psi_i - \bar{\psi})^2}, \quad (11)$$

$$\sigma_{\frac{kF}{m_a}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left[ \left( \frac{kF}{m_a} \right)_i - \overline{\frac{kF}{m_a}} \right]^2}, \quad (12)$$

де  $N$  – об'єм отриманої вибірки:

$$N = \frac{T_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}}}{\Delta t} + 1, \quad (13)$$

$T_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}}$  – тривалість періоду вимірювань параметрів при вибігу.

Об'єм вибірки можна збільшити (не змінюючи  $T_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}}$  і  $\Delta t$ ), проводячи обробку не лише по двох послідовних точках ( $t_1$  і  $t_2$ ), а і з допомогою сполучень будь-якої пари точок із масиву  $N$ . Об'єм вибірки при цьому буде

$$N' = C_N^2 = N \frac{N-1}{2} \approx 0,5N^2. \quad (14)$$

Таким чином, визначивши параметри  $\psi$  і  $\frac{kF}{m_a}$  із рівнянь (7) і (8), по двох довільно вибраних точках збільшують об'єм вибірки на один порядок.

Підставляючи (13) в (14), отримаємо

$$N' = 0,5 \left( \frac{T_{\hat{a}\hat{a}}}{\Delta t} + 1 \right)^2. \quad (15)$$

Визначивши параметри  $\psi$  і  $\frac{kF}{m_a}$ , за формулою (2) можемо розрахувати  $\sum P_c$  для будь-якого моменту часу руху автомобіля в тяговому режимі

$$\sum P_c = m_a \left\{ g\bar{\psi} + \left( \frac{kF}{m_a} \right) [v_a(t)]^2 \right\}, \quad (16)$$

де  $v_a(t)$  – лінійна швидкість автомобіля в будь-який момент часу.

Визначивши  $\sum P_c$ , із рівняння (1) знаходимо тягову силу на колесі

$$P_k = m_a \left\{ \dot{v}_a(t) + g\bar{\psi} + \left( \frac{kF}{m_a} \right) [v_a(t)]^2 \right\}. \quad (17)$$

При безперервному запису параметрів процесу можна прослідити зміну силових параметрів процесу протягом заданого періоду. Параметр  $\bar{\psi}$ , визначений в процесі вибігу, характеризує не тільки середнє значення сумарного дорожнього опору, а також і опір в трансмісії, обумовлений силами сухого тертя, гідравлічними втратами на перемішування масла в картерах агрегатів. Крім того, на величину  $\bar{\psi}$  впливає інерційний момент від мас трансмісії, що обертаються.

#### Висновки

Використання методу парціальних прискорень дозволяє визначити сумарну силу опору руху автомобіля, складові цієї сили, такі як сумарний опір коченню і фактор обтічності, а також визначити тягову силу на колесах в будь-який момент часу, використовуючи в якості виміральної апаратури лише датчики лінійних прискорень.

1. Петрушов В. А. Мощностной баланс автомобиля / В. А. Петрушов, В. В. Московкин, А. Н. Евграфов. – М.: Машиностроение, 1984. – 160 с.
2. BOSCH. Автомобильный справочник: Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.: ил.
3. Подригало М. А. Метод парціальних прискорень і його застосування при дослідженні динаміки мобільних машин / М. П. Артемов, А. Т. Лебедев, О. П. Алексієв, В. П. Волков, М. А. Подригало, О. С. Полянський // Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України : науково-практична конф., 17-18 бер. 2010 р. : тези доп. – Х., 2010. – С. 44-46.
4. Метрологічне забезпечення динамічних випробувань тягово-транспортних машин / М. А. Подригало, А. І. Коробко, Д. М. Клец, В. І. Гацько // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Тракторна енергетика в рослинництві. – 2009. – Вип. 89. – С. 87-99.