

О. Л. Добровольський

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА ОПОРУ РУХУ НА ВЕЛИЧИНУ ВИБІГУ АВТОМОБІЛЯ

Отримана в роботі залежність відображає зміну шляху вибігу автомобіля залежно від маси, лобової площі, швидкості руху та коефіцієнта опору кочення, а також від індивідуальних особливостей конкретного автомобіля.

Вступ

Одним з критеріїв визначення технічного стану автомобіля є витрата палива або вільний вибіг автомобіля. Ці параметри залежать від опору кочення автомобільного колеса, який залежить від режиму, у якому воно працює (ведене або ведуче), і є наслідком, головним чином, таких чинників: деформації шини, деформації поверхні, по якій котиться колесо, тертя в підшипниках та кутів встановлення керованих коліс [1]. Кути установки керованих коліс, які мають вплив на опір руху автомобіля, впливають на безпеку, довговічність і надійність роботи підвіски [2]. Під час експлуатації автомобіля з порушенням кутів установки керованих коліс погіршується стійкість руху, збільшується опір кочення, що приводить до зменшення вибігу автомобіля та підвищення витрати палива. Крім того, кути установки керованих коліс є узагальнювальним параметром технічного стану підвіски автомобіля [3]. Розробка високоефективних засобів і методів діагностування кутів установки керованих коліс є актуальною проблемою, розв'язання якої, в остаточному підсумку, підвищить ефективність роботи автомобілів.

Визначення вибігу автомобіля в залежності від опору руху

Узагальненим показником технічного стану трансмісії автомобіля та ходової частини є вільний вибіг автомобіля. Під час руху накатом двигун від'єднаний від трансмісії, крутний момент до ведучих коліс не підводиться, сила тяги відсутня. Потужність, що витрачається на тертя в трансмісії невелика, так як сила тяги відсутня.

Щоб визначити показники динамічності автомобіля під час вибігу, напишемо рівняння руху для цього режиму, яке визначається з рівняння силового балансу [4]

$$m\delta \frac{dv}{dt} = P_h + P_f + P_w, \quad (1)$$

де δ — коефіцієнт урахування обертових мас; m — маса автомобіля; P_h — сила опору підйому; P_f — сила опору кочення; P_w — сила опору повітря.

Випробування на вибіг проводять на рівній дорозі ($P_h = 0$) і враховують тільки опір кочення та опір повітря. В цьому випадку рівняння силового балансу з урахуванням руху зі сповільненням буде мати вигляд

$$m\delta x'' = -\frac{c_x \rho}{2m} F V^2 - Gf.$$

Для визначення вибігу розглянемо знаходження розв'язку диференціального рівняння $x = x(t)$:

$$\delta x'' = -\frac{c_x \rho}{2m} F (x')^2 - fg.$$

Поділимо всі члени рівняння на коефіцієнт для старшої похідної:

$$\frac{d^2(x(t))}{dt^2} + \frac{c_x \rho}{2m\delta} F \left(\frac{d(x(t))}{dt} \right)^2 + \frac{fg}{\delta} = 0. \quad (2)$$

В останнє рівняння не входить явно аргумент t , отже заміна

$$\frac{d(x(t))}{dt} = v(t) \rightarrow \frac{d^2(x(t))}{dt^2} = \frac{d(v(t))}{dt} \quad (3)$$

дозволяє понизити степінь диференціального рівняння

$$\frac{d(v(t))}{dt} + \frac{c_x \rho}{2m\delta} F v^2(t) + \frac{fg}{\delta} = 0. \quad (4)$$

Ми отримали один із спеціальних випадків рівняння Ріккати [52].

Зробимо таку заміну:

$$v(t) = \frac{2m\delta}{c_x \rho F} \cdot \frac{u'(t)}{u(t)} \rightarrow v'(t) = \frac{2m\delta}{c_x \rho F} \left[\frac{u''(t)}{u(t)} - \frac{(u'(t))^2}{u^2(t)} \right], \quad (5)$$

з урахуванням якої рівняння (4) після нескладних перетворень набуде вигляду:

$$u''(t) + \beta^2 \cdot u(t) = 0, \quad (6)$$

де

$$\beta = \frac{\sqrt{c_x \rho F f g}}{\sqrt{2m\delta}}. \quad (7)$$

Ми отримали лінійне однорідне диференціальне рівняння 2-го порядку зі сталими коефіцієнтами. Корені характеристичного рівняння дорівнюють $\pm i\beta$, отже загальний розв'язок цього рівняння має такий вигляд:

$$u(t) = C_1 \cos(\beta t) + C_2 \sin(\beta t), \quad (8)$$

де C_1, C_2 — довільні сталі.

Розв'язок рівняння (8) можна подати у тотожному вигляді

$$u(t) = \alpha \cos(\beta t - \gamma), \quad (9)$$

де α, γ — довільні сталі, що визначаються із початкових умов.

З урахуванням (9), на основі першої рівності (5), матимемо:

$$v(t) = -\sqrt{\frac{2mfg}{c_x \rho F}} \operatorname{tg}(\beta t - \gamma). \quad (10)$$

Тоді на основі першої рівності (3) матимемо:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\sqrt{\frac{2mfg}{c_x \rho F}} \operatorname{tg}(\beta t - \gamma), \quad (11)$$

звідки отримуємо:

$$x(t) = -\int \sqrt{\frac{2mfg}{c_x \rho F}} \operatorname{tg}(\beta t - \gamma) dt \quad (12)$$

або

$$x(t) = \frac{2m\delta}{c_x \rho F} \ln(\cos(\beta t - \gamma)) + C, \quad (13)$$

де C — довільна стала.

Запишемо початкові умови:

$$v(t=0) = v_0; \quad (14)$$

$$x(t=0) = 0, \quad (15)$$

згідно з якими відлік відстані починається в момент вимикання трансмісії з поточною швидкістю v_0 .

З рівняння (10) з урахуванням (14), отримаємо:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2mfg}{c_x \rho F}} \operatorname{tg}(\gamma). \quad (16)$$

А із (13), з урахуванням (15), матимемо:

$$C = -\frac{2m\delta}{c_x \rho F} \ln(\cos(\gamma)), \quad (17)$$

використовуючи тригонометричну тотожність

$$\cos(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\gamma)}}. \quad (18)$$

На основі співвідношення (17) з використанням (16), (18) отримаємо:

$$C = \frac{m\delta}{c_x \rho F} \ln\left(1 + v_0^2 \frac{c_x \rho F}{2mfg}\right). \quad (19)$$

З урахуванням останньої рівності співвідношення (13) набуде такого вигляду:

$$x(t) = \frac{2m\delta}{c_x \rho F} \left(\ln(\cos(\beta t - \gamma)) + \frac{1}{2} \ln\left(1 + v_0^2 \frac{c_x \rho F}{2mfg}\right) \right). \quad (20)$$

Оскільки через деякий час t_3 відбудеться зупинка, тобто повинна бути виконана умова

$$v(t = t_3) = 0, \quad (21)$$

яка, з урахуванням (10), буде виконана за

$$t_3 = \frac{\gamma}{\beta}, \quad (22)$$

то, позначивши

$$x(t = t_3) = S, \quad (23)$$

на основі (20), матимемо формулу для обчислення довжини шляху до зупинки:

$$S = \frac{m\delta}{c_x \rho F} \ln\left(1 + v_0^2 \frac{c_x \rho F}{2mfg}\right), \quad (24)$$

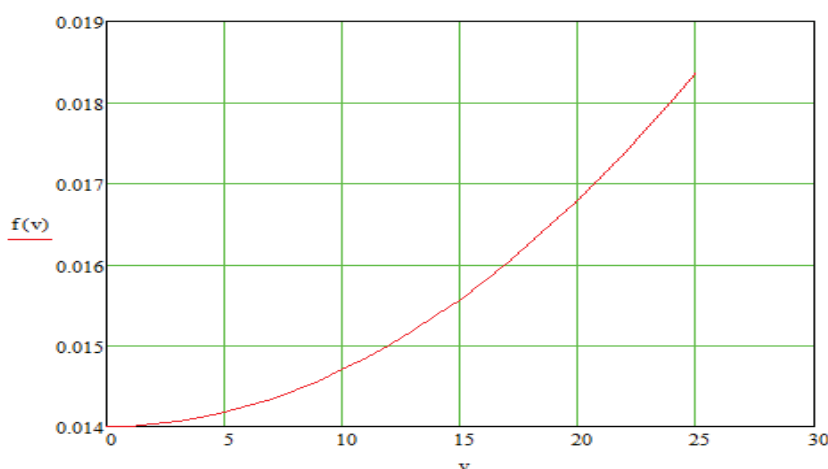


Рис. 1. Залежність коефіцієнта опору кочення від початкової швидкості автомобіля під час вибігу

де $f = f_0 \left(1 + \frac{v^2}{2000}\right)$ — коефіцієнт опору кочення з урахуванням швидкості.

З рис. 1 видно, що зі зменшенням початкової швидкості з 25 м/с² до 20 м/с² коефіцієнт опору кочення зменшується з 0,182 до 0,168. Таким чином неврахування фактору швидкості приводить до суттєвих похибок в розрахунках.

На рис. 2 показано залежність шляху вибігу від коефіцієнта опору кочення з урахуванням початкової швидкості автомобіля. Виявлено, що навіть несуттєве збільшення опору кочення на 0,001 зменшує вільний вибіг автомобіля на 160 м з початковою швидкістю 90 км/год.

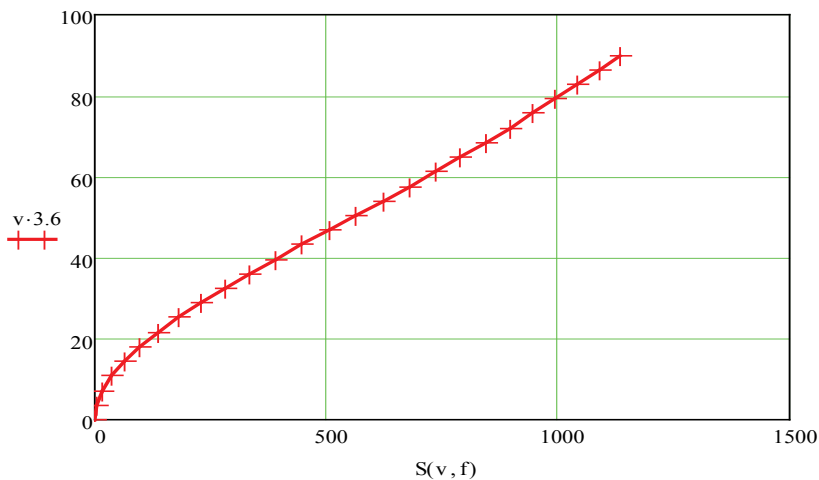


Рис. 2. Залежність шляху вибігу автомобіля від початкової швидкості з урахуванням зміни коефіцієнта опору кочення

Висновки

Отримана залежність, яка дозволяє обчислити довжину шляху до повної зупинки автомобіля враховуючи його масу, початкову швидкість, силу опору повітря, коефіцієнт врахування обертових мас, площу поперечного перерізу автомобіля та коефіцієнт опору кочення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Туревский И. С. Теория автомобиля / И. С. Туревский. — М. : Высшая школа, 2005. — 240 с : ил. — ISBN 004615-X
2. Рязанцев В. И. Анализ результатов моделирования движения автомобиля с управляемым сходжением / В. И. Рязанцев // Проектирование колесных машин : Материалы междунар. Науч.-техн. конф., посвященной 70-летию кафедры колесных машин МГТУ им. Н. Э. Баумана. — М., 2006. — С. 25—35.
3. Бухин Б. Л. Введение в механику пневматических шин / Б. Л. Бухин. — М. : Химия, 1988, 224с.
4. Иларионов В. А. Эксплуатационные свойства автомобиля / В. А. Иларионов. — М. : Машиностроение, 1966. — 280 с.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту

Надійшла до редакції 10.09.09
Рекомендована до друку 30.09.09

Добровольський Олександр Леонідович — асистент.

Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет