

### СИЛИ, ЩО ДІЮТЬ НА КОЛЕСО ПРИ БУКСУВАННІ

Як відомо, рушійною силою автомобіля прийнято вважати так звану силу тяги, яка є мірою взаємодії рушія з опорною поверхнею у повздовжній площині.

Проте таке визначення справедливе лише у випадку взаємодії колеса з твердою опорною поверхнею без буксування. На опорних поверхнях, що деформуються, особливо на сипучих ґрунтах, рух без буксування практично неможливий. При буксуванні частина ґрунту, що потрапляє у западини протектора шини, за рахунок проковзування шини відносно ґрунту, буде викидатись у напрямку протилежному до напрямку обертання колеса (рис. 1). Це буде створювати додаткову дотичну до колеса силу направлену проти напрямку обертання колеса. Назвемо цю силу реактивною. Вона буде створювати додатковий реактивний момент опору.

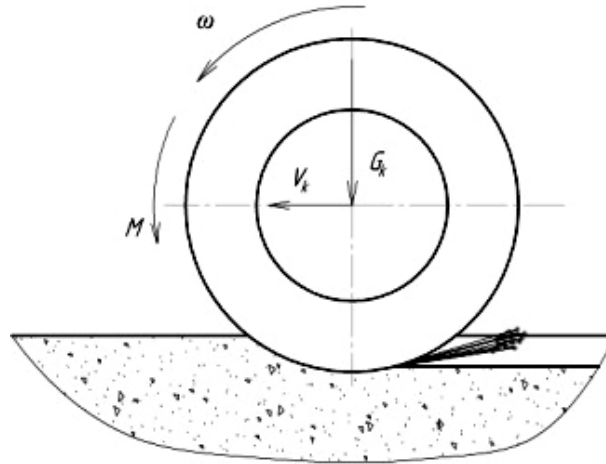


Рис. 1. Розрахункова схема буксування колеса

Якщо колесо разом із ґрунтом, що потрапив у западини протектора розглядати як замкнуту систему, то реактивну силу можна визначити виходячи з основних положень теорії реактивного руху. Нехай колесо обертається з коловою швидкістю  $\omega_0 = \text{const}$  і при цьому воно працює у режимі повного буксування. За час  $\Delta t$  воно повернеться на кут  $\Delta\varphi$ . При цьому ґрунт, що потрапив у западини протектора, буде викидатись по дотичній до колеса зі швидкістю  $V_{\text{ад}} = \omega_0 \cdot r_A$ , де  $r_A$  – динамічний радіус колеса. Тоді на колесо буде діяти реактивна сила, направлена проти напрямку обертання колеса, яку можна визначити за формулою:

$$F_p = -V_{\text{ад}} \cdot \mu, \quad (1)$$

де  $\mu$  – маса викинутого ґрунту за одиницю часу.

Маса ґрунту, що викидається за час  $\Delta t$ , можна виразити наступною залежністю:

$$m_{\text{гр}} = \Delta V \cdot \rho = \frac{\pi \cdot (1 - K_{\text{п}}) \cdot r_A \cdot B \cdot L_{\text{п}} \cdot \rho \cdot \omega \cdot \Delta t}{180}, \quad (2)$$

де  $\Delta V$  – об'єм ґрунту, що викидається за час  $\Delta t$ ,  $\rho$  – щільність ґрунту,  $K_{\text{п}}$  – коефіцієнт насиченості протектора,  $B$  – ширина профілю шини,  $L_{\text{п}}$  – глибина западин протектора,  $\Delta\varphi = \omega \cdot \Delta t$  – кут на який повертається колесо за час  $\Delta t$ .

Якщо проміжок часу  $\Delta t$  дуже малий ( $\Delta t \rightarrow 0$ ), то  $\mu$  можна виразити залежністю:

$$\mu = \frac{dm_{\text{ад}}}{dt} = \frac{\pi(1 - \hat{E}_I) r_A \cdot \hat{A} \cdot L_I \cdot \rho \cdot \omega}{180}, \quad (3)$$

а реактивну силу, що діє на колесо:

$$F_p = -V_{\text{ад}} \cdot \frac{\pi(1 - \hat{E}_I) r_A \cdot \hat{A} \cdot L_I \cdot \rho \cdot \omega}{180} = \frac{\pi(1 - \hat{E}_I) r_A^2 \cdot \hat{A} \cdot L_I \cdot \rho \cdot \omega^2}{180}. \quad (4)$$

Очевидно, що швидкість ґрунту, при його викиді з зони контакту, буде рівною середній швидкості бігової доріжки шини. Відомо, що при буксуванні колесо обертається не рівномірно, а скачками. Причому швидкість бігової доріжки шини може бути визначена за формулою:

$$\omega(t) = -\frac{C_z}{C_x} \omega \Delta r (f_c - f_k) \sin(\omega t) - \omega_0 \cos(\omega t) + \omega_0 - \frac{C_z}{C_x} \Delta r (f_c - f_k), \quad (5)$$

де  $C_z$ ,  $C_x$  – радіальна і тангенціальна жорсткості шини відповідно,  $\Delta r$  – зміна радіуса шини, викликана її деформацією,  $f_c, f_k$  – коефіцієнти тертя спокою і ковзання відповідно.

Тоді з врахуванням дійсної колової швидкості протектора шини (рівняння 7), отримаємо:

$$\omega(t) = \frac{C_z}{C_x} \omega \Delta r (f_c - f_k) \sin(\omega t) - \omega_0 \cos(\omega t) + \omega_0 - \frac{C_z}{C_x} \Delta r (f_c - f_k), \quad (6)$$

де  $(\omega t)$  – визначається за формулою (5).

Графіки залежностей моменту на колесі при постійній і змінній коловій швидкості периферії шини представлено на рисунках 2, 3 відповідно.

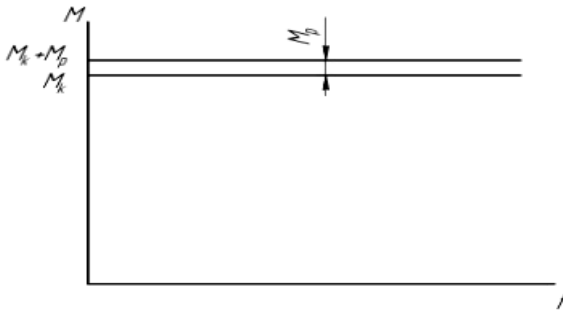


Рис. 2. Залежність моменту на колесі від часу при постійній коловій швидкості

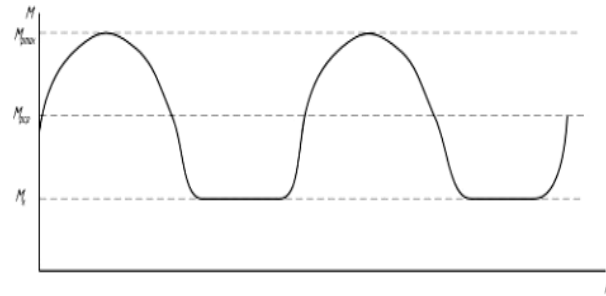


Рис. 3. Залежність моменту на колесі від часу при змінній коловій швидкості

Графіки залежностей лінійної швидкості елементів периферії шини при постійній і змінній коловій швидкості колеса представлено на рисунках 4, 5 відповідно.

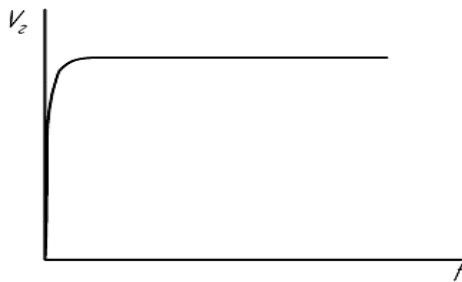


Рис. 4. Залежність швидкості викиду ґрунту від часу при постійній коловій швидкості

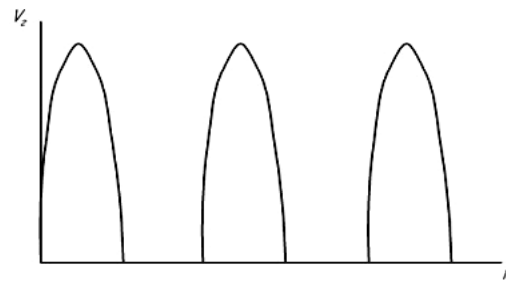


Рис. 5. Залежність швидкості викиду ґрунту від часу при змінній коловій швидкості

**Висновки.** Показано, що на колесо при буксуванні на сипучих ґрунтах діє додаткова реактивна сила опору, викликана тим, що при буксуванні частина ґрунту, яка потрапляє у западини протектора шини викидається у напрямку протилежному напрямку обертання колеса.