

**Подригало Михайло Абович**, д.т.н., професор,  
*Харківський Національний автомобільно-дорожній університет*  
**Кайдалов Руслан Олегович**, к.т.н., доцент,  
*Національна академія Національної гвардії України*

## ОЦІНКА ДОДАТКОВИХ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ПРИВОДУ ВЕДУЧИХ КОЛІС АВТОМОБІЛЯ

Коливання крутного моменту двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) призводить до додаткових втрат енергії, оскільки викликає коливання швидкості і кінетичної енергії автомобіля. Впливу нерівномірності крутного моменту ДВЗ на додаткові втрати енергії при сталому русі автомобіля присвячені роботи [1–3]. У роботах [1, 2] визначено, що додаткові витрати енергії, зумовлені коливаннями крутного моменту  $i$ , відповідно, коливаннями тягової сили на колесах можуть бути визначені такою залежністю

$$\Delta W_s = \frac{A_p}{\pi} S, \quad (1)$$

де  $A_p$  – амплітуда коливань тягової сили (при моделюванні цих коливань гармонійним законом [1]);  $S$  – шлях, прохідний автомобілем (контрольований пробіг).

Аналіз рівняння (1) показує, що додаткові втрати енергії на рух автомобіля, викликаних коливаннями тягової сили на колесах, при використанні комбінованого електромеханічного приводу. Отримано [3] вираз, що дозволяє визначити додаткові втрати енергії

$$\Delta W_s = \frac{k_1}{2\pi} \cdot \Sigma P_o \cdot S \cdot \left( 1 - \frac{M_{ed} \cdot n_1}{r_d \cdot \Sigma P_c} \right) \quad (2)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт нерівномірності крутного моменту [1, 2],

$$k_1 = 0,08 + \frac{14,44}{i_y}; \quad (3)$$

$i_y$  – число циліндрів ДВЗ,  $\Sigma P_o$  – сумарна сила опору руху автомобіля;  $M_{ed}$  – крутний момент від електродвигуна, підведений до колеса автомобіля;  $n_1$  – число ведучих коліс автомобіля;  $r_d$  – динамічний радіус ведучих коліс.

При використанні комбінованого електромеханічного приводу ведучих коліс відбувається зменшення амплітуди коливань тягової сили [3]. В роботі [3] отримано залежність для визначення амплітуди коливань тягової сили в разі використання комбінованого електромеханічного приводу

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{k_1}{2r_d} \cdot (\bar{M}_i \cdot u_{mp} \cdot \eta_{мдв} \cdot \eta_{mp} - M_{ed} \cdot n_1) = \\ &= \frac{k_1}{2} \cdot \Sigma P_c \cdot (1 - k_{ed}) = \left( 0,04 + \frac{7,22}{i_y} \right) \cdot (1 - k_{ed}) \cdot \Sigma P_c. \end{aligned} \quad (4)$$

Після перетворення виразу (4), отримаємо

$$\Delta W'_S = \frac{\left(0,04 + \frac{7,22}{i_y}\right) \cdot S \cdot \Sigma P_c \cdot (1 - k_{ed}) \cdot \Omega_M^2}{\pi \cdot \sqrt{\left(k^2 - \Omega_M^2\right)^2 + 4n^2 \cdot \Omega_M^2}}. \quad (5)$$

Перетворивши рівняння (5), отримаємо відносні додаткові втрати енергії

$$\frac{\Delta W'_S}{S \cdot \Sigma P_c} = \frac{\Delta W'_S}{A_c} = \frac{\Delta W'_S}{W_S} = \frac{\left(0,04 + \frac{7,22}{i_y}\right) \cdot (1 - k_{ed})}{\pi \cdot \sqrt{\left(\frac{k^2}{\Omega_M^2} - 1\right)^2 + \frac{4 \cdot n^2}{\Omega_M^2}}}. \quad (6)$$

Беручи допущення того, що демпфірування відсутнє ( $n = 0$ ), перетворимо (6) до виду

$$\frac{\Delta W'_S}{W_S} = \frac{\left(0,04 + \frac{7,22}{i_y}\right) \cdot (1 - k_{ed})}{\pi \cdot \left| \frac{k^2}{\Omega_M^2} - 1 \right|}. \quad (7)$$

Аналізуючи вираз (7) можна зробити висновок про те, що застосування комбінованого електромеханічного приводу дозволяє зменшити (в порівнянні з механічним приводом) додаткові енергетичні втрати. При  $k_{ed} = 1$  (при повністю електричному приводі) зазначені втрати дорівнюють нулю.

Таким чином, при використанні комбінованого електромеханічного приводу ведучих коліс також, як і в разі механічної трансмісії автомобіля небезпечний резонанс, тобто рівність  $k = \Omega M$ . Але зі збільшенням частки  $k_{ed}$  крутного моменту на колесі, створюваної електродвигуном, відносні додаткові витрати енергії на рух автомобіля знижуються. При  $k_{ed} = 1$  ці втрати дорівнюють нулю.

### Література

1. Подригало М.А. Оценка дополнительных энергетических потерь при установившемся режиме движения транспортно-тяговых машин / М.А. Подригало, Н.П. Артемов, Д.В. Абрамов, М.А. Шуляк // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле-та тракторобудування. – № 9 (1118) 2015. – С. 98 – 107.

2. Подригало М.А. Влияние неравномерности крутящего момента двигателя внутреннего сгорания на энергетическую экономичность колесных транспортных средств / М.А. Подригало, А.С. Полянский, Н.М. Подригало, Д.В. Абрамов // Залізничний транспорт України. Науково-практичний журнал. – К.: ДП «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», 2005. – №6. – С. 40 – 46.

3. Кайдалов Р.О. Дослідження можливості зниження енергетичних втрат автомобіля при використанні гібридного електромеханічного приводу ведучих коліс / Р.О. Кайдалов // Системи обробки інформації, 2016, випуск 9 (146). – С. 13 – 17.