

## БАЛАНС ПОТУЖНОСТЕЙ РУХОМОГО СКЛАДУ В ПРОЦЕСІ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Баланс потужностей одиниці рухомого складу характеризує розподіл потужності по її складовим у фіксований момент часу або у конкретному місці шляху. Використання енергії при функціонуванні рухомого складу складається з перетворення корисних потужностей та потужностей втрат. Основними складовими енергоспоживання є:

- тягова електропередача;
- системи власних потреб;
- системи забезпечення комфорту (пристрої опалення, освітлення, вентиляції та кондиціонування, тощо).

В режимі тяги повна потужність  $\sum P_i$ , що споживається дизель-поїздом може бути знайдена з виразу

$$\sum P_i = P_M + P_{V.P.} + P_K + P_{Vrat}, \quad (1)$$

де  $P_M$  – потужність, що витрачається на виконання механічної роботи з переміщення дизель-поїзда;

$P_{V.P.}$  – потужність системи власних потреб;

$P_K$  – потужність, що споживається пристроями забезпечення комфорту;

$P_{Vrat}$  – сукупна потужність втрат (механічні, електричні, магнітні, теплові втрати у двигунах, перетворювачах та системах електропостачання, інших механічних та електричних елементах тягової електропередачі, зубчастих передачах, шестернях та колісних парах, тощо).

Потужність, що витрачається на виконання механічної роботи з переміщення дизель-поїзда залежить від швидкості руху  $v$  та дотичної сили тяги  $F_D$ , що реалізується тяговою електропередачею:

$$P_M = F_D \cdot v, \quad (2)$$

яка також визначається зміною кінетичної та потенціальної енергій і дією при цьому сил тертя при подоланні основного опору руху та опору при проходженні кривих:

$$P_M = P_{ter} + P_{kin} + P_{pot}, \quad (3)$$

де  $P_{ter}$  – потужність, що витрачається на подолання сил тертя;

$P_{kin}$  – потужність, що витрачається на зміну кінетичної енергії рухомого складу;

$P_{pot}$  – потужність, що витрачається на зміну потенціальної енергії рухомого складу.

Значення дотичної сили тяги визначається з виразу:

$$F_D = \psi_k \cdot Q, \quad (4)$$

де  $\psi_k$  – коефіцієнт зчеплення;

$Q$  – осьове навантаження на одну колісну пару.

Універсальна формула для визначення коефіцієнта зчеплення має вигляд:

$$\psi_k = \frac{30}{100 + v}. \quad (5)$$

Робота дотичної сили тяги, що утворюється при взаємодії рухомих коліс дизель-поїзда з рейками, більшою частиною витрачається на подолання зовнішніх сил, що створюють опір руху дизель-поїзда.

В теорії локомотивної тяги прийнято оцінювати результуючу силу некерованих зовнішніх сил опору руху дизель-поїзда.

У виразі (3) значення потужності, що витрачається на подолання сил тертя, визначається результуючою силою опору руху рухомого складу  $w_o$  та силою опору при проходженні кривих  $w_{kr}$  та залежить від швидкості руху дизель-поїзда:

$$P_{ter} = (w_o + w_{kr}) \cdot v. \quad (6)$$

Згідно з дослідженнями [1, 2] для дизель-поїздів результуюча сила опору руху визначається виразом

$$w_o = 1,1 + 0,012 \cdot |v| + 0,000678 \cdot v^2. \quad (7)$$

За [3] сила опору руху при подоланні підйомів визначається величиною крутизни уклону за виразом

$$w_i = i - \frac{0,5 \cdot i}{1 + i}, \quad (8)$$

де  $i$  – крутизна уклону, ‰.

Опір рушанню з місця дизель-поїзда задамо функцією [1-3]

$$w_r = \frac{280}{q_0 + 70}, \quad (9)$$

де  $q_0$  – осьове навантаження на одну колісну пару.

Аналогічно до (1) запишемо баланс потужностей для інших режимів роботи рухомого складу:

- гальмування;

- рух в режимі вибігу.

В режимі вибігу потужність споживається системою власних потреб та пристроями забезпечення комфорту, тобто повна потужність  $\sum P_V$ , що споживається дизель-поїздом може бути знайдена з виразу

$$\sum P_V = P_{V.P.} + P_K + P_{Virat\_V}, \quad (1)$$

(1)

де  $P_{Virat\_V}$  – потужність втрат в режимі вибігу.

При цьому має місце співвідношення:

$$P_{ter} + P_{kin} + P_{pot} = 0. \quad (1)$$

(1)

В режимі гальмування з гасінням енергії гальмівними пристроями (реостатне гальмування, використання механічних гальм, тощо), де мають місце додаткові втрати потужності в гальмівних пристроях та колах  $P_{gal}$  повна потужність  $\sum P_G$  знаходиться аналогічно до (10) з виразу:

$$\sum P_G = P_{V.P.} + P_K + P_{Virat\_G}, \quad (1)$$

(2)

де  $P_{Virat\_G}$  – потужність втрат в режимі гальмування.

При цьому має місце співвідношення:

$$P_{ter} + P_{gal} = P_{kin} + P_{pot}. \quad (1)$$

(3)

Потужність гальмування визначається дотичною гальмівною силою рухомого складу  $F_G$ :

$$P_{gal} = F_G \cdot v. \quad (1)$$

(4)

Зусилля тяги та гальмування рухомого складу, що реалізуються тяговими двигунами дизель-поїзда, обмежені в основному зчепленням коліс з рейками [1, 3]. Тому для моторвагонних поїздів, на яких живлення тягового двигуна відбувається через перетворювач частоти, слід контролювати значення коефіцієнта зчеплення. При наявності швидкодіючих систем автоматичного керування необхідно підтримувати значення сили тяги такою, що відповідає максимальному коефіцієнту зчеплення [3].

В режимі рекуперативного гальмування на шкідливих уклонах при спуску (долається висота більша за 10 м та уклон елементів профілю шляху більший за 4 ‰) має місце співвідношення:

$$P_{pot} = P_{ter} + P_{Virat} + P_{V.P.} + P_K + P_{rek}, \quad (1)$$

(5)

де  $P_{rek}$  – потужність енергії рекуперації.

При гальмуванні до повної зупинки:

$$P_{pot} + P_{kin} = P_{ter} + P_{Virat} + P_{V.P.} + P_K + P_{rek}. \quad (1)$$

(6)

Проаналізувавши значення потужностей доцільно перейти до балансу енергій через співвідношення:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt, \quad (1)$$

(7)

де  $W$  – енергія;

$t_1, t_2$  – значення початку та кінця проміжку часу, за який визначається витрачена енергія.

### Висновки.

Наведений баланс потужностей моторвагонного рухомого складу показує можливість значного вивільнення енергії рекуперації та використання накопичувальних пристроїв в конструкції дизель-поїздів.

### Література.

1. Кузьмич В. Д. Теория локомотивной тяги : Учебник для вузов железнодорожного транспорта / Кузьмич В. Д., Руднев В. С., Френкель С. Я. – М. : Маршрут, 2005. – 448 С.
2. Френкель С. Я. Техника тяговых расчетов : Учебно-методическое пособие / С. Я. Френкель. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 72 С.
3. Осипов С. И. Основы тяги поездов / Осипов С. И., Осипов С. С. – М. : УМК МПС России, 2000. – 592 С.