

УДК 681.5.015+62—83:629.433

Б. І. Мокін, д. т. н., проф.;

О. Б. Мокін, к. т. н., доц.

## МОДЕЛЬ ОБМЕЖЕННЯ НА ЛІНІЙНУ ШВИДКІСТЬ ВАГОНА ЕЛЕКТРОПОТЯГА ПІД ЧАС ЙОГО РУХУ ПО ЗАКРУГЛЕННЮ КОЛІЇ

Побудовано модель обмеження на лінійну швидкість вагона електропотяга під час його руху по закругленню колії, яка враховує вплив: відцентрової сили, що діє на центр маси вагона з вантажем, сили ваги, що прикладена до цього ж центра, та сил ваги сусідніх вагонів, дія яких передається через вузли зчеплення вагонів між собою.

### Постановка задачі

В роботах [1, 2] нами побудовано моделі руху багатовагонних електропотягів, придатні для розв'язання задач оптимізації їх електроприводів, та розкрито зміст сил, що діють на кожний вагон електропотяга під час руху і які входять до складу правих частин згаданих вище моделей.

Оскільки запропоновані моделі описують рух вагонів електропотяга на площині, то вони не несуть в собі можливості для оцінки значень параметрів руху, за яких може відбутись перевертання вагона під дією сил, що створюють обертальний момент навколо його горизонтальної осі і діють у площині, ортогональній до площини, на якій задано траєкторію руху.

Тож, приступаючи до розв'язання задачі оптимізації режиму роботи електропривода багатовагонного електропотяга, необхідно визначити обмеження на параметри руху на площині його траєкторії, неперевищення яких гарантує безаварійний рух електропотяга за рахунок неперевищення обертальними моментами вагонів їх критичних значень.

### Побудова моделі обмежень

Нехай поперечний переріз вагона, для якого синтезується модель обмеження на швидкість на закругленні колії, має вигляд, наведений на рис.

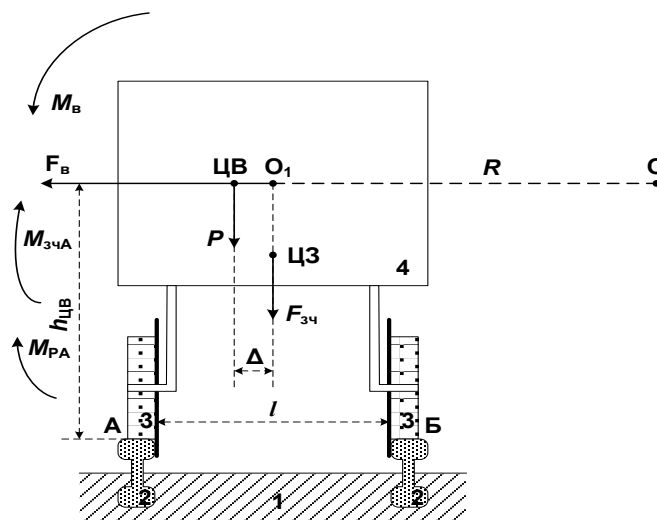


Рис. 1. Схематичний поперечний переріз вагона, що рухається у напрямку від нас по закругленню радіуса  $R$  ( $OO_1$ ) з центром в точці  $O$

На рисунку: 1 — насип; 2 — рейка; 3 — колесо; 4 — кузов вагона; ЦВ — центр маси  $m$  вагона з вантажем;  $l$  — відстань між точками А і Б дотику коліс до рейок; ЦЗ — центр зчеплення вагона з іншим вагоном;  $\Delta$  — зміщення центра маси вагона з вантажем відносно центра зчеплення;  $F_B$  — відцентрова сила, прикладена до центра маси вагона з вантажем;  $h_{ЦВ}$  — плече сили  $F_B$ ;  $M_B$  — момент сили  $F_B$  відносно точки А дотику колеса з рейкою;  $P$  — сила ваги вагона разом з вантажем;  $F_{зч}$  — сила, що прикладається до даного вагона з боку зчепленого з ним сусіднього вагона;  $M_{РА}$  — момент сили  $P$  відносно точки А дотику колеса з рейкою,  $M_{зчА}$  — момент сили  $F_{зч}$  відносно точки А дотику колеса з рейкою.

З рисунку зрозуміло, що для безпечного руху вагона, тобто такого руху, коли усі колеса мають точки дотику з рейками, необхідно, щоб виконувалась нерівність

$$M_{РА} + M_{зчА} > M_B. \tag{1}$$

Очевидно, що в разі справедливості рівності

$$M_{РА} + M_{зчА} = M_B, \tag{2}$$

вагон виходить на межу стійкості, а коли

$$M_{РА} + M_{зчА} < M_B, \tag{3}$$

вагон почне перекидатись.

Тож, використовуючи вираз (2), ми можемо визначити те значення лінійної швидкості  $V$  руху вагона по закругленню (позначимо його  $V_{кр}$ ), неперевикнення якого гарантує утримання вагона на залізничній колії.

З курсу механіки [3] відомо, що в позначеннях рисунка для моментів, що входять в рівність (2), справедливими є вирази

$$\begin{cases} M_{РА} = P \left( \frac{l}{2} - \Delta \right); \\ M_{зчА} = F_{зч} \frac{l}{2}; \\ M_B = F_B h_{ЦВ} = \frac{mV^2}{R + \Delta} h_{ЦВ}. \end{cases} \tag{4}$$

Оскільки кожен  $i$ -й вагон, крім останнього вагона та електровоза, має зчеплення з двома іншими, тобто з вагонами  $(i - 1)$  та  $(i + 1)$ , то в рівності (2) потрібно враховувати, що до кожного  $i$ -го вагона прикладаються дві сили зчеплення  $F_{зчА}^{(i-1)}$  та  $F_{зчА}^{(i+1)}$ . Тож лише для електровоза і останнього вагона ця рівність є справедливою у вигляді (2). З урахуванням цього зауваження для будь-якого  $i$ -го вагона, який не є останнім, рівність (2) потрібно записати у вигляді:

$$M_{РА}^{(i)} + M_{зчА}^{(i-1)} + M_{зчА}^{(i+1)} = M_B^{(i)}. \tag{5}$$

Підставляючи значення моментів з виразу (4) у рівність (5), отримаємо:

$$P^{(i)} \left( \frac{l}{2} - \Delta_i \right) + F_{зчА}^{(i-1)} \frac{l}{2} + F_{зчА}^{(i+1)} \frac{l}{2} = \frac{m \left( V_{кр}^{(i)} \right)^2}{R + \Delta_i} h_{ЦВ}. \tag{6}$$

З рівняння (6) знайдемо

$$V_{кр}^{(i)} = \sqrt{\frac{R + \Delta_i}{m \cdot h_{ЦВ}} \left( P^{(i)} \left( \frac{l}{2} - \Delta_i \right) + F_{зчА}^{(i-1)} \frac{l}{2} + F_{зчА}^{(i+1)} \frac{l}{2} \right)}, \quad i = 2, 3, \dots, n - 1. \tag{7}$$

Очевидно, якщо

$$\begin{cases} F_{зчА}^{(0)} = 0; \\ F_{зчА}^{(i+1)} = 0, \end{cases} \quad (8)$$

то вираз (7) буде справедливим і для електровоза, який будемо вважати вагоном під номером 1, і для останнього  $n$ -го вагона. З урахуванням цього зауваження в моделі (7) для критичної швидкості вагона  $V_{кр}$  можна покласти  $i = \overline{1, n}$ .

Доповнивши моделі руху, отримані в роботах [1, 2], обмеженням

$$V \leq V_{кр}, \quad (9)$$

де  $V_{кр}$  визначається з виразу (7), матимемо всі вихідні передумови, необхідні для розв'язання задачі оптимізації режимів роботи електроприводів багатовагонного електропотяга.

### Висновки

Побудовано модель обмеження на лінійну швидкість вагона електропотяга під час його руху по закругленню колії. Запропонована модель враховує вплив: відцентрової сили, що діє на центр маси вагона з вантажем, сили ваги, що прикладена до цього ж центра, та сил ваги сусідніх вагонів, дія яких передається через вузли зчеплення вагонів між собою.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін Б. І., Мокін О. Б. Математичні моделі багатомасових розподілених динамічних систем для задач оптимізації (частина 1) // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008. — № 6. — С. 55—58. — ISSN 1997-9266.
2. Мокін Б. І., Мокін О. Б. Математичні моделі багатомасових розподілених динамічних систем для задач оптимізації (частина 2) // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2009. — № 1. — С. 28—33. — ISSN 1997-9266.
3. Стрелков С. П. Механика / С. П. Стрелков. — М. : Наука, 1965. — 528 с.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Надійшла до редакції 3.04.09  
Рекомендована до друку 23.04.09

**Мокін Борис Іванович** — професор, **Мокін Олександр Борисович** — доцент.

Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет