

**В.Г. Кузнецов, канд. техн. наук, Г.Я. Мозолевиц, К.О. Калашиников**  
(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна)

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПОТОКУ ПОЇЗДІВ, ЯКІ ОБМЕЖУЮТЬ ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ ДІЛЯНКИ ЗА УМОВАМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Велике значення для раціональної організації руху на залізничних ділянках і найбільш ефективного використання матеріальних ресурсів, що вкладаються в розвиток транспорту, має правильна оцінка пропускної здатності. За останні роки намітилася тенденція збільшення кількості поїздів підвищеної маси і довжини, що ускладнюють умови роботи системи електропостачання, особливо на залізницях постійного струму [1]. Це приводить до того, що пропускна здатність пристроїв електропостачання визначає наявну пропускну спроможність ділянок.

Дослідження впливу різної кількості поїздів в міжпідстанційній зоні (МЗ) і зміни інтервалу між поїздами на режими роботи системи тягового електропостачання проведені в роботах [2-5], проблемі вдосконалення розрахунків наявної пропускної спроможності присвячені роботи [6, 7]. Проте залізнична дільниця складається з багатьох МЗ і для того, щоб оцінити вплив потоку поїздів по всій дільниці в цілому на режими роботи системи тягового електропостачання, на думку авторів статті, необхідно визначити:

- 1) наявну пропускну спроможність дільниці за умовами електропостачання з урахуванням довжини МЗ і всієї дільниці;
- 2) розрахункові показники потоку поїздів: інтенсивність та щільність, які обмежують пропускну спроможність дільниці за умовами електропостачання;
- 3) значення щільності потоку поїздів, при якій реалізується максимальна інтенсивність руху на дільниці.

Згідно методики [8], наявна добова пропускна спроможність дільниці системи тягового електропостачання при паралельному графіку руху визначається найбільшою кількістю поїздів, яка може бути пропущена за добу, враховуючи обмеження по потужності устаткування тягових підстанцій, нагріванню проводів контактної мережі, напрузі на струмоприймачі електрорухомого складу:

$$N = \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \alpha_n}{J_p}; \quad (1)$$

де  $t_{\text{техн}}$  – тривалість вільного від поїздів часу, що надається в графіці руху для виконання робіт по точному ремонту залізничної колії, пристроїв і споруд, хв;  $\alpha_n$  – коефіцієнт надійності відповідної групи обладнання системи тягового електропостачання;  $J_p$  – розрахунковий інтервал між поїздами, хв.

Для розрахунку інтервалу між поїздами, необхідно визначити кількість поїздів, які можуть одночасно перебувати у зоні живлення даної підстанції виходячи з потужності кожного з розрахункових елементів силового обладнання:

$$n_0 = \frac{1,1 I_{\text{enm}}}{\sum_{f \in F} \frac{1}{\alpha_{nf}} \cdot I_{\text{ф}f} C_f}; \quad (2)$$

де  $F$  – число перегінних фідерів даної підстанції;  $I_{\text{enm}}$  – ефективний струм тягової підстанції, що забезпечується відповідними розрахунковими елементами силового обладнання при відключених резервних агрегатах;  $\alpha_{nf}$  – коефіцієнт, який залежить від числа колій ( $\alpha_{nf} = 0,9$  для двоколіїної і  $\alpha_{nf} = 0,85$  для одноколіїної дільниці);  $I_{\text{ф}f}$  – струм, що доводиться на фідер  $F$  від середньозваженого поїзда;  $C_f$  – коефіцієнт, що враховує розміри руху по коліях, що живляться фідерами підстанції:

$$C_f = \frac{N_f}{\sum_{f \in F} N_f}; \quad (3)$$

де  $N_f$  – число поїздів за добу на колії, що живиться фідером  $F$  (для одноколійної ділянки в обох напрямках).

Для двоколійної ділянки інтервал між поїздами  $j_f$  на колії, що живиться фідером  $F$ :

$$j_f = \frac{t_{pf}}{n_{0f}} \quad (4)$$

де  $t_{pf}$  – загальний час руху поїзда, встановленої маси по колії МЗ, що живиться фідером  $F$ .

У роботах [3, 4], число поїздів, які можуть знаходитися на МЗ, представлені в загальному вигляді формулою:

$$n_0 = \frac{t_p}{J_p}; \quad (5)$$

де  $t_p$  – час руху поїзда по МЗ.

Максимальна щільність ділянки за умовами електропостачання  $\lambda_{max}$  є максимальною кількістю поїздів, які можуть знаходитися на 1 км МЗ:

$$\lambda_{max} = \frac{n_0}{L_{МЗ}}, \text{ поїздів/км}; \quad (6)$$

де  $L_{МЗ}$  – довжина МЗ, км.

Оскільки інтервал між поїздами  $J_p$  є величиною зворотною інтенсивності потоку поїздів, то максимальну інтенсивність на МЗ за умовами електропостачання  $r_{max}$  можна визначити за формулою:

$$r_{max} = \frac{n_0}{t_p} = \frac{1}{J_p}, \text{ поїздів/год}. \quad (7)$$

Перетворюючи формули (5-7), знаходимо пропускну спроможність МЗ  $N_{МЗ}$ , тобто максимальну кількість поїздів, які можуть знаходитися на 1 км МЗ, за проміжок часу  $t_p$ :

$$N_{МЗ} = \frac{n_0}{L_{МЗ}} = \frac{t_p r_{max}}{L_{МЗ}} \Rightarrow \lambda_{max} = t_p r_{max} \frac{1}{L_{МЗ}} \Rightarrow \lambda_{max} = \frac{r_{max}}{L_{МЗ}}, \text{ поїздів/(км·год)}. \quad (8)$$

Для того, щоб визначити наявну пропускну спроможність за умовами електропостачання всієї ділянки, необхідно визначити максимальну кількість поїздів, яка може бути пропущена по ділянці, довжиною  $L$  за проміжок часу  $t$ :

$$N = \frac{r_{max}}{L} = \frac{\lambda_{max}}{t}, \text{ поїздів/(км·год)}. \quad (9)$$

де  $L$  – довжина ділянки, км;  $t$  – час руху розрахункового поїзда по ділянці, год.

З урахуванням  $t_{техн}$  і  $\alpha_n$  формула (9) приймає наступний вигляд:

$$N = \frac{\lambda_{max} \alpha_n}{t + t_{техн}} = \frac{r_{max} \alpha_n}{V(t + t_{техн})}; \quad (10)$$

де  $V$  – швидкість проходження розрахункового поїзда по ділянці, км/год.

У роботі [9] ставиться задача визначення такого значення щільності потоку поїздів при якому реалізується максимальна інтенсивність руху на дільниці:  $\lambda(t) \rightarrow \max r(L)$ . Вирішити дану задачу можна, перетворюючи формулу (9):

$$\lambda = \frac{r_{max} t}{L} \quad (11)$$

Формули (9 – 11) справедливі при наступних припущеннях:

- тип графіка руху – паралельний;
- всі типи поїздів приведені до розрахункового.

Оскільки фактичні розміри руху не завжди відповідають наявній пропускній спроможності дільниці, для дослідження впливу потоку поїздів на систему електропостачання, авторами статті запропоновано ввести новий просторово-часовий показник потоку поїздів, який відповідає фактично виконаним розмірам руху на дільниці. Визначення залежностей даного показника потоку поїздів від режимів роботи системи тягового електропостачання дозволить підвищити енергоефективність процесу перевезень за рахунок підвищення якості управління потоком поїздів.

Таким чином, фактичні розміри руху для будь-якого типу графіка руху поїздів можна визначити з наступного виразу:

$$\xi_{\Phi} = \frac{r_c}{L} = \frac{\lambda_c}{t_c} \quad (12)$$

де  $r_c$  – середня інтенсивність руху поїздів на дільниці, *поїздів/год*;  $L$  – довжина розрахункової дільниці, *км*;  $\lambda_c$  – середня щільність поїздів на дільниці, *поїздів/км*;  $t_c$  – середньозважений час руху поїзда по дільниці, з урахуванням усіх типів поїздів (*год*).

$$t_c = \frac{\sum t_i n_i}{\sum n_i} \quad t_c = \frac{\sum t_i \cdot n_i}{\sum n_i} \quad (13)$$

де  $t_i$  – час проходження поїзда  $i$ -ї категорії по дільниці (*год*);  $\sum n_i$  – кількість поїздів  $i$ -ої категорії.

Для залізничної дільниці Синельникове-2 – Чаплине проведений аналіз наявної пропускної спроможності за умовами електропостачання. Розрахункові дані дільниці наступні:

- 1) довжина дільниці – 73 *км*;
- 2) довжина МЗ:
  - Синельникове-2 – Раздори – 16 *км*.
  - Раздори – Письменна – 21 *км*
  - Письменна – Ульяновка – 19 *км*.
  - Ульяновка – Чаплине – 17 *км*;
- 3) вага розрахункового поїзда – 4200 *т*, при середній швидкості – 60 *км/год*;
- 4) інтервал між поїздами за умовами електропостачання 8 *хв*.

На рис. 1 представлені значення  $\xi$  для кожної МЗ дільниці Синельникове-2 – Чаплине за умовами електропостачання.

По формулах (6-7) визначені максимальна інтенсивність 7,68 *поїздів/год* і максимальна щільність *поїздів/км* потоку поїздів, які лімітують пропускну спроможність даної дільниці за умовами електропостачання. При даному значенні щільності потоку поїздів реалізується максимальна інтенсивність руху на дільниці. По формулі (12) визначено значення  $\xi = 0,105$  *поїздів/(км·год)*, яке відповідає максимальним розмірам руху на дільниці за умовами електропостачання.

Для нормальної роботи системи електропостачання фактичні показники  $\lambda_{\Phi}$  і  $r_{\Phi}$  не повинні пере-

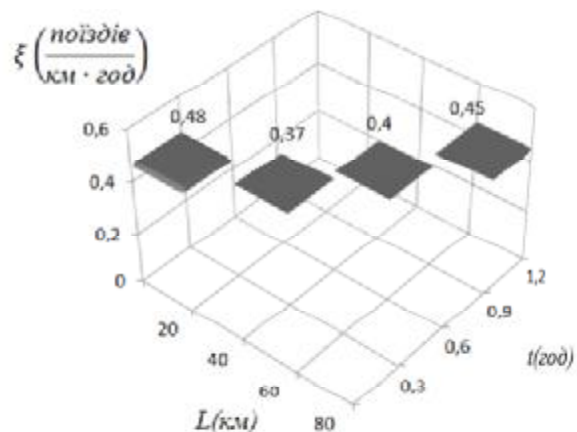


Рис. 1. Можливі розміри руху на дільниці за умовами електропостачання

вищувати розрахункові  $r_{max}$  і  $\lambda_{max}$  які відповідають наявній пропускній спроможності дільниці за умовами електропостачання.

## ВИСНОВОК

У роботі визначені показники потоку поїздів, які лімітують пропускну спроможність дільниці Синельникове-2–Чапліно за умовами електропостачання: максимальна інтенсивність 7,68 поїздів/год, максимальне значення щільності, при якій реалізується максимальна інтенсивність руху 0,128 поїздів/км. Визначено значення нового показника потоку поїздів 0,105 поїздів/(км·год), який відповідає максимальним розмірам руху на дільниці. Вивчення залежності даного показника від режимів роботи системи тягового електропостачання дозволить підвищити енергоефективність процесу перевезень за рахунок підвищення якості управління потоком поїздів.

## Список літератури

1. Фогель, Х. Вопросы увеличения массы и длины поездов // Железные дороги мира № 4, 2000. С.22-27.
2. Доманская, Г. А. Энергосберегающие технологии тягового электроснабжения железных дорог с учетом режимов работы питающих их энергосистем [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.09 / Г. А. Доманская. – Д., 2007. – 25 с.
3. Мирошниченко, Р. И. Режимы работы электрифицированных участков [Текст] / Р. И. Мирошниченко – М. : Транспорт, 1982. – 207 с.
4. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К.Г. Марквардт.- М:Транспорт,1982.-528с.
5. Митрофанов, А. Н. Моделирование процессов прогнозирования и управления электропотреблением тяги поездов [Текст] / А. Н. Митрофанов; Самарская гос. акад. путей сообщения. – Самара. – 2005, -168 с.
6. Левин, Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом [Текст] / Д. Ю. Левин. – М. : Транспорт, 2008. – 625 с.
7. Гаранин, М. А. Совершенствование расчета наличной пропускной способности железных дорог постоянного тока по условиям электроснабжения [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.07 / М. А. Гаранин. – Самара: 2004. – 25 с.
8. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України / Київ:2002 р.
9. Грунтов, П.С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте [Текст]: учебник для вузов / П.С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, А.М. Макарошкин. – М: Транспорт, 1994. – 543 с.

*Рекомендовано до друку: проф. Бобровським В.І.*