

6. Резников Ю. М., Стрелочные электроприводы электрической и горючей централизации. – М.: Транспорт, 1975.

7. Чиликин М. Г., Сандлер А. С., Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с., ил.

УДК 625.42

*Бабаєв М. М., д.т.н. професор (УкрДАЗТ)
Сіроклин І. М., асистент (УкрДАЗТ)*

СИНТЕЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПАСАЖИРОПОТОКІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

Вступ. До основних експлуатаційних факторів, що впливають на рівень зносу електрорухомого складу (ЕРС) метрополітену, звичайно відносять інтенсивність його використання, швидкість руху, населеність вагона та якість колії руху. Одним з найважливіших факторів у літературі [1,2,3] визначено навантаженість вагона. Оскільки існують розроблені методи врахування впливу завантаженості на статистику відмов [3], практичний інтерес становить розробка ефективних та недорогих методів і засобів контролю завантаженості вагона метрополітену в процесі його експлуатації.

На сучасному етапі розвитку залізничної автоматики широкого впровадження набули різноманітні системи ідентифікації рухомого складу. В умовах метрополітену система ідентифікації дозволяє визначати час прослідування ЕРС фіксованих точок (пунктів ідентифікації) та по логіці спрацювання рейкових кіл постійно відслідковувати час та ординату перебування електропоїзда. Використання такої системи в комплексі із засобами контролю пасажиропотоків дає можливість розробки та впровадження методів аналітичного розрахунку завантаженості окремо для кожного вагона метрополітену.

Мета. Розробка методу аналітичного контролю завантаженості вагонів метрополітену на основі аналізу пасажиропотоків що входять та

виходять, з використанням вірогіднісного розподілу руху пасажирів та часової диференціації розрахунку вірогідностей.

Постановка проблеми. Контроль пасажиропотоків, що входять та виходять на конкретній станції, успішно вирішується за допомогою апаратури контрольно-пропускних пунктів (КПП). В залежності від потреб та частоти використання метрополітену, пасажир має можливість користуватися як пластиковими жетонами, так і різноманітними відрізними, електронними та магнітними картками. Пільговий контингент зазвичай пропускається через окремих КПП без використання квитка. Більшість способів оплати проїзду не надає інформацію про траєкторію, час та кінцеву станцію руху пасажирів, тоді як використання такої інформації дозволило б корегувати розклад руху поїздів та зменшити витрати на обслуговування електрорухомого складу за рахунок удосконалення контролю його технічного стану.

Постає проблема аналітичного розрахунку траєкторії руху пасажирів з метою контролю завантаженості вагонів метрополітену.

Аналіз досліджень і публікацій. Серед аналітичних методів розрахунку можна виділити два основні напрямки:

- контроль ваги електропоїзда через контроль струму в колі якоря тягового двигуна [4, 5];
- контроль пасажиропотоків з використанням динамічної вірогідності їх розподілу [6 - 8].

Установлення бортових систем небажане через дорожнечу та непристосованість вагонів, що експлуатуються в метрополітенах України, до установлення додаткового обладнання. Розглянемо математичні основи розрахунку пасажиропотоків та перевіримо можливість його використання на прикладі Салтівської лінії Харківського метрополітену.

У літературі [6] для прогнозу завантаженості перегонів та переходів метрополітену запропоновано використовувати теорію графів та динамічних вірогідностей розподілу потоків пасажирів, що входять та виходять зі станції. Основою методики є припущення, що пасажирів, які входять на станцію в заданий проміжок часу, направляються до інших станцій пропорційно вірогідностям виходу пасажирів на станціях.

Основна частина. Уявивши послідовність вершин (станцій) і дуг (перегонів), з яких складається транспортна мережа Харківського метрополітену, можливо перевірити дієвість запропонованої методики.

Наразі контроль потоку пасажирів, що виходять на станціях, в Харківському метрополітені не запроваджений, тому для перевірки методики [6] використаємо результати останнього талонного дослідження.

Розрахунок безрозмірних відносних інтенсивностей джерел:

$$P_i = \frac{Q_{BXi}}{\sum_{i=1}^n Q_{BXi}} < 1, \quad \sum_{i=1}^n P_i = 1, \quad (1)$$

де Q_{BXi} - кількість пасажирів, що входять до i -ї станції, за вибраний проміжок часу;

n – кількість вершин транспортної мережі.

Аналогічно для кожної вершини розраховується безрозмірна відносна інтенсивність виходу пасажирів:

$$q_i = \frac{Q_{ВИХi}}{\left(\sum_{j=1}^n Q_{ВИХj} - Q'_{ВИХi} \right)} < 1, \quad (2)$$

де $Q_{ВИХi}$ - кількість пасажирів, що виходять на i -й станції, за вибраний проміжок часу;

$Q'_{ВИХi}$ – кількість пасажирів, що виходять на i -й станції та входять до числа Q_{BXi} .

Завантаженість перегонів між станціями i та $i+1$ розраховується як

$$S_{i,i+1} = \frac{\sum_{j=1}^i Q_{BXj} \cdot \sum_{j=i+1}^n Q_{ВИХj}}{\left(\sum_{j=1}^n Q_{ВИХj} - Q'_{ВИХj} \right)}. \quad (3)$$

Результат, отриманий на основі розрахунків наведеним методом, показує кількість перевезених пасажирів між визначеними станціями (по визначених перегонах) за розглянутий проміжок часу. При співставленні з даними від системи контролю руху та ідентифікації електропоїздів можна визначити приведені навантаження для кожного задіяного в перевезеннях вагона.

За результатами використання такої методики середнє значення похибки склало 4,13% (рисунок 1), максимальна похибка розрахунків не перевищила 14%. Проте методика має суттєвий недолік – припущення про

сталість пасажиропотоків за період спостереження. Це припущення зумовлює зниження достовірностей результатів, оскільки різниця в часі руху пасажирів між сусідньою станцією та найбільш віддаленою для Харківського метрополітену складає до 40 хв.

Збільшення точності розрахунків може бути отримане при врахуванні часу, який затрачає пасажир на подолання маршруту. Такий підхід може бути реалізований при періоді контролю пасажиропотоку, близькому до інтервалу руху поїздів (1 – 5 хв або менше). Поєднавши описану методику розрахунку з підходом, запропонованим в [7], порядок розрахунку можна сформулювати таким чином.

Складається матриця з даними про середній час, який повинен затратити пасажир на рух між станціями мережі.

$$M_{\bar{t}} = \begin{pmatrix} \bar{t}_{11} & \bar{t}_{12} & \dots & \bar{t}_{1N} \\ \bar{t}_{21} & \bar{t}_{22} & \dots & \bar{t}_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{t}_{M1} & \bar{t}_{M2} & \dots & \bar{t}_{MN} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де N – порядковий номер станції.

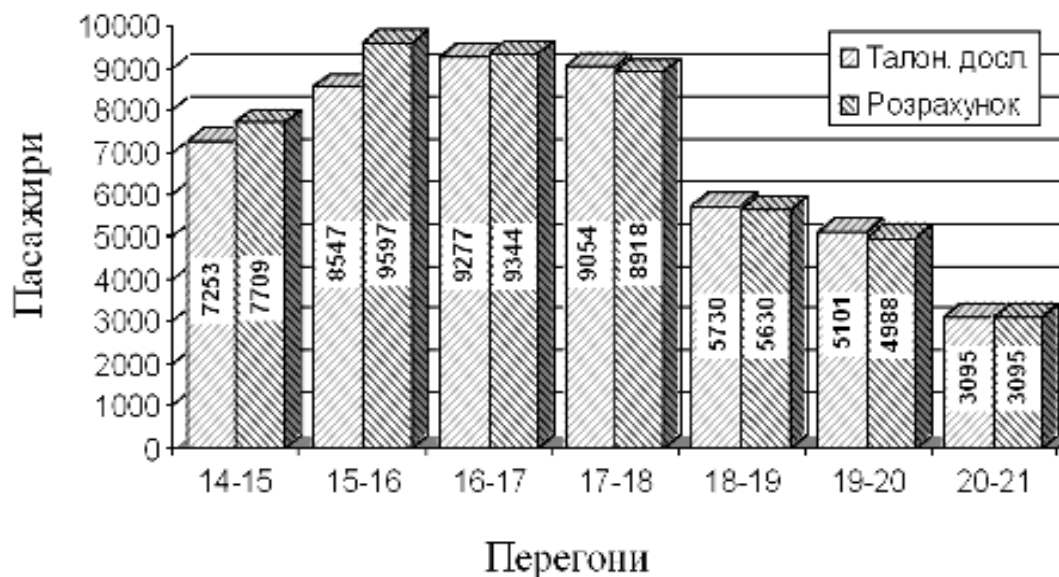


Рисунок 1 - Завантаженість перегонів Салтівської лінії (2-га колія) з 10:00 по 11:00

Прийемо T – інтервал дискретизації по часу, тоді час руху пасажирів між станціями доцільно виразити через кількість інтервалів T , затрачених на подолання маршруту між станціями $(\bar{t}_{11}, \bar{t}_{12}, \dots, \bar{t}_{NN})$.

Нехай M_S^{BX} матриця з даними про кількість пасажирів, що ввійшли на станції за час T .

$$M_S^{BX} = |Q_{BX1} \quad Q_{BX2} \quad \dots \quad Q_{BXN}|, \quad (5)$$

де S – порядковий номер періоду T від початку відліку (від початку руху поїздів).

Застосувавши удосконалення методики, запишемо вірогідність стоку пасажирів на станції i за період з порядковим номером s як

$$q_i(s) = \frac{Q_{BIX_i}(s)}{\sum_{j=1}^N Q_{BX_j}(s - t_{ij})}. \quad (6)$$

При цьому завантаженість перегону може бути визначена як

$$S_{i,i+1}(s) = \sum_{j=1}^i Q_{BX_j}(s - t_{ij}) \cdot \sum_{k=i+1}^N q_k(s + t_{i,i+1} + t_{ik}). \quad (7)$$

Підставивши вираз (6) в (7), матимемо

$$S_{i,i+1}(s) = \sum_{j=1}^i Q_{BX_j}(s - t_{ij}) \cdot \sum_{k=i+1}^N \left(\frac{Q_{BIX_k}(s + t_{i,i+1} + t_{ik})}{\sum_{j=1}^N Q_{BX_j}(s + t_{i,i+1} + t_{ik} - t_{kj})} \right). \quad (8)$$

Завантаженість перегону в певний проміжок часу визначатиме завантаженість вагона електропоїзда, що прямує по перегону. Нехай $g_{m,i,i+1}$ - порядковий номер відрізка часу, в який електропоїзд m виїхав зі станції i до станції $i+1$; $g_{m+1,i,i+1}$ - порядковий номер відрізка часу, в який електропоїзд $m+1$ виїхав зі станції i до станції $i+1$, тоді маса пасажирів, перевезених вагоном електропоїзда $m+1$, буде

$$M_{m+1,i,i+1} = \frac{\sum_{T=g_m+1}^{g_{m+1}} S_{i,i+1}(T) \cdot m_{ПАС}}{k_{ВАГ}}, \quad (9)$$

де $k_{ВАГ}$ - кількість вагонів у складі електропоїзда;

$m_{ПАС}$ - середня маса пасажирів.

Наведений вираз не враховує нерівномірність посадки пасажирів по вагонах електропоїзда та нерівномірність сезонної зміни середньої ваги пасажирів (ваги одягу). При проведенні додаткових досліджень та формування відповідних коефіцієнтів вираз може бути доповнений.

Висновки. Розвинений комплекс інфраструктури засобів автоматизації в умовах метрополітену дає можливість, при умові їх комплексного використання, розширити контроль режимів та умов роботи електричного складу. За рахунок розробки методів більш повного використання існуючих засобів можливо вирішити питання діагностики технічного стану рухомого складу. Так, комплексне використання системи ідентифікації та системи контролю пропуску пасажирів дає можливість аналітично визначати завантаженість окремо кожного вагона на кожному перегоні мережі. Проведений синтез методів розрахунків пасажиропотоків дає можливість зробити такі висновки:

1) для контролю завантаженості вагонів на кожному перегоні вибраний метод, що дозволяє контролювати завантаженість перегонів на основі аналізу пасажиропотоку на вході та виході зі станцій. Використання даних талонного дослідження дало можливість перевірити точність методу при умові його використання в Харківському метрополітені;

2) проведено удосконалення методики розрахунку завантаженості перегонів на основі синтезу розглянутого методу з підходом, що враховує час руху пасажирів зі станції відправлення до станції прибуття. Отримані результати дають змогу розраховувати матрицю взаємної кореспонденції між станціями та збільшити точність розрахунків.

Список літератури

- 1 Четвергов В.А., Пузанков А.Д. Надёжность локомотивов: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта. - М.: Маршрут, 2003. – 415с.
- 2 Горский А.В., Воробьев А.А. Надёжность электроподвижного состава: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта.- М.: Маршрут, 2005. – 303 с.
- 3 Алексеев Е.Н. Влияние интенсивности движения поездов и пассажиропотоков на статистику отказов вагонов метрополитена // Железнодорожный

транспорт – пути развития и совершенствования его работы: Межвузовский сборник научных трудов / ВНИИЖТ. -, М., 1985.- Вып. № 128.- С. 25- 30.

4 Балканов А.А., Шантаренко С.Г., Швецов С.В. Влияние веса поезда на техническое состояние электровозов // Железнодорожный транспорт.- 2005.- №5.- С. 26-28.

5 Баранов Л.А., Мерман И.И. Алгоритмы определения веса поезда в тяговом режиме // Вестник ВНИИЖТ.- 1985.- № 5.- С.1- 4

6 Птицин Г.А. Расчёт пассажиропотоков метрополитенов // Вестник ВНИИЖТ.- № 3.-1985.- С.12-15

7 Елсуков В.А., Костылёва Г.В., Кучумов В.Г. и др. Математическая модель пассажиропотоков метрополитена // Вестник ВНИИЖТ.- 1984.- №4.- С.21-23.

8 Малинов В.М. Способы расчёта загрузки перегонов линий метрополитенов // Вестник ВНИИЖТ.- 1982.- №3.- С.5.