

УДК 621.331

КУЗНЕЦОВ В. Г., к.т.н., доцент,  
КАЛАШНИКОВ К. О., аспірант (ДНУЗТ)

## Дослідження показників транспортного потоку на електрифікованій дільниці для визначення раціональних режимів системи тягового електропостачання

*Представив д.т.н., професор Скалозуб В. В.*

### Вступ

Транспортний потік поїздів зумовлює навантаження на транспортну систему, від його показників залежить необхідна потужність енергосистеми залізничного транспорту (станцій, депо, дільниць, полігонів). У зв'язку з підвищенням вартості електроенергії та тенденціями подальшого її зростання недосконалість управління транспортним потоком наносить галузі значні економічні збитки.

Багато вчених займалось проблемами оптимізації транспортного потоку [1,2,3,5,8]. Нажаль, на сьогоднішній день проблема з оптимізацією потоків поїздів з урахуванням енергетичних показників до кінця не вирішена. На кафедрі електропостачання ДНУЗТ розроблено метод розрахунку систем тягового електропостачання, де потік поїздів подається як потік відновлення [6,7]. Такий підхід дозволяє враховувати вплив нерівномірності потоку поїздів на енергетичні показники системи електропостачання електрифікованого транспорту (перш за все – втрати електроенергії в елементах системи тягового електропостачання).

### Мета дослідження

Метою роботи є дослідження закономірностей потоку поїздів. Знання цих закономірностей дозволить знайти раціональні режими роботи системи електропо-

стачання електрифікованого транспорту.

### Основна частина

Значення і межі зміни тягових навантажень для кожної конкретної ділянки залежать від таких показників транспортного потоку, як кількість поїздів в одиницю часу (інтенсивність), кількість поїздів на одиницю довжини (густина), інтервалів між поїздами, нерівномірності руху поїздів (місячна, внутрішньомісячна, середньодобова). Вагомий вплив на енергосистему має маса поїздів, поєднання маси різних поїздів, а на двоколіїних ділянках — поєднання поїздів (по числу і по масі) на обох напрямках і, як наслідок, зміна струмів, споживаних поїздами. Всі ці фактори носять випадковий характер і при дослідженні закономірностей їх зміни треба використовувати методи теорії вірогідності та випадкових процесів.

Для дослідження показників транспортного потоку були проаналізовані графіки руху поїздів. На рис. 1 наведена схема дільниці залізничних перевезень, яка складається з п'яти проміжних станцій і трьох дільничних. Дільницю «Ч» обмежують ст. «С-2», ст. «С-1» та ст. «Ч». Аналіз показників транспортного потоку проводився на вході дільниці: для непарних поїздів – по ст. «Ч», для парних поїздів – по ст. «Б».

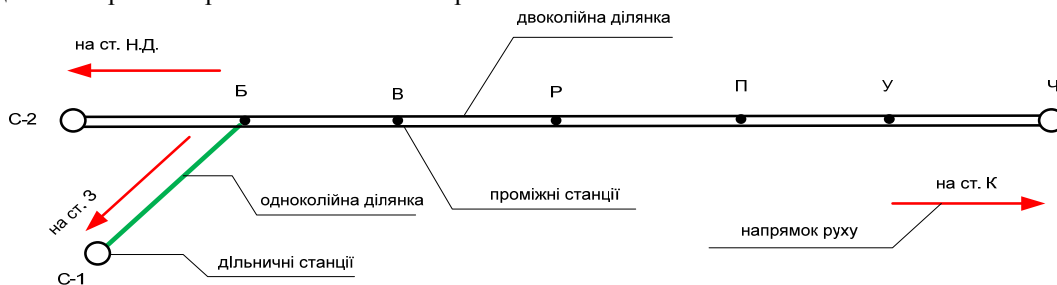


Рисунок 1 – Схема дільниці «Ч»

**Нерівномірність руху поїздів**

Для сучасної організації руху поїздів характерна значна нерівномірність протягом доби, місяця, року. Разом з об'єктивними причинами яскраво виражена нерівномірність пов'язана з недостатнім рівнем оперативного управління.

Коефіцієнт річної нерівномірності руху поїздів:

$$K_{\text{рн}} = \frac{12 \cdot N_{\text{міс}}}{N_{\text{р}}} \quad (1)$$

де  $N_{\text{міс}}$  - розміри руху поїздів за місяць;

$N_{\text{р}}$  - сумарні розміри руху за рік;

12 - кількість місяців у році.

Коефіцієнт добової нерівномірності:

$$K_{\text{доб}} = \frac{24 \cdot N_{\text{год}}}{N_{\text{доб}}} \quad (2)$$

де  $N_{\text{год}}$  - кількість поїздів за 1 годину ;

$N_{\text{доб}}$  - розміри руху поїздів за добу;

24 - кількість годин у добі.

Нерівномірність руху поїздів пояснюється багатьма причинами: неоднакова швидкість руху поїздів (особливо вантажних і пасажирських), відмінності в темпах навантаження і вивантаження в окремі періоди доби, чергування інтервалів між поїздами по відправленню з будь-якої станції, відмінність тягових характе-

ристик різних серій локомотивів, надання часу в графіках для виконання робіт по поточному ремонту колії, контактної мережі і т.ін.

Всі разом узяті причини нерівномірності руху визначають одну з властивостей потоку поїздів — невідзначеність. Іншими основними властивостями потоку поїздів є кінцевість і просторово-часовий стан. Кінцевість характеризується одновимірністю довжин поїздів і залізничних ліній, яка виявляється при їх взаємодії, наприклад, при виникненні перешкод руху і скупченні поїздів на ділянках. Швидкість руху поїздів також є кінцевою величиною. Вона залежить як від показників ділянок, так і від різних категорій поїздів. Швидкість руху поїзда, який йде попереду, визначає можливість вступу на ділянку поїздів, що йдуть услід. Дослідження, в яких умова кінцевості ігнорується, не можна вважати достатньо наближеними до реальності. Особливо важливо це враховувати при моделюванні руху поїздів.

Зміна положення поїздів при русі по ділянках є стохастичним процесом і неідентичним у просторі та часі. Поїзда в потоці слідує з різними швидкостями на різних відстанях один від одного. Таким чином швидкості поїздів та інтервали між ними, зафіксовані у випадкові моменти часу, є також випадковими показниками. Одже, рух поїздів, маючи детерміновану основу, яка визначається графіком руху, по своїй фізичній природі — процес ймовірнісний, саме тому слід відрізнити часовий і просторовий процеси руху потоку поїздів [4].

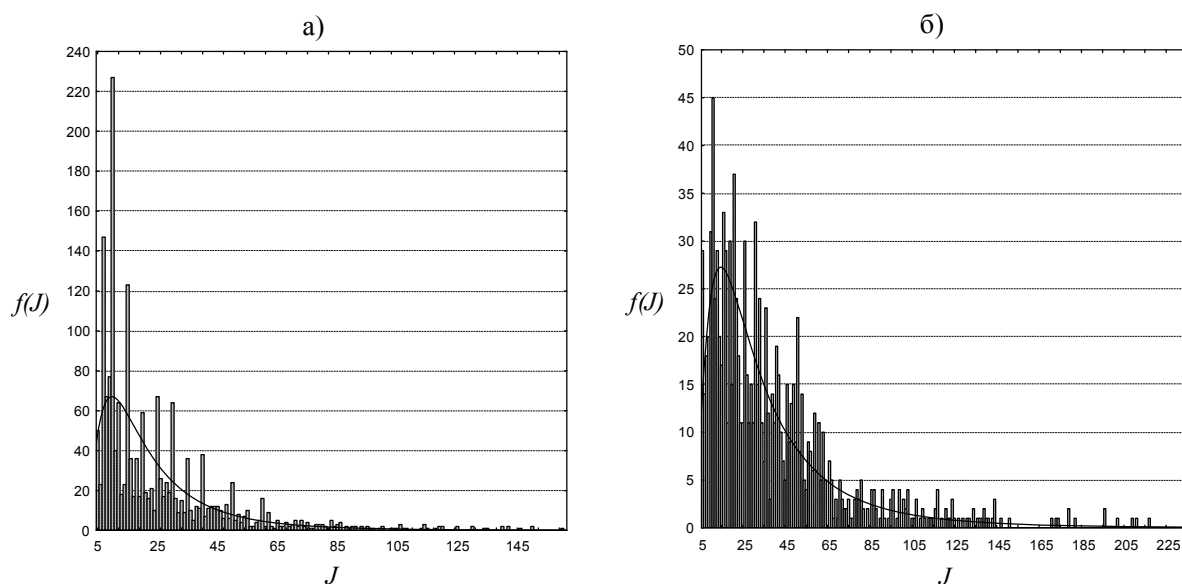


Рисунок 2 – Гістограми розподілу інтервалів між поїздами:  
а) непарний напрямок; б) парний напрямок

### Розподіл інтервалів між поїздами

Графік руху характеризує процес зміни за часом інтервалів  $J$  між наступними один за одним поїздами. В процесі дослідження було встановлено, що розподіл інтервалів  $J$  підпорядковується логнормальному закону. На рис. 2 наведено гістограми розподілу інтервалів.

Розрахунки проведені в пакеті Statistica.

### Інтенсивність потоку поїздів

Будемо визначати інтенсивність потоку поїздів на базі використання теорії потоків відновлення [4]. Вказаний параметр визначається через густину розподілу міжпоїздних інтервалів шляхом вирішення інтегрального рівняння Вольтерра другого роду:

$$h(t) = f(t) + \int_0^t f(x)h(t-x)dx, \quad (3)$$

де  $f(t)$  - густина розподілу міжпоїздних інтервалів.

Фізично інтенсивність потоку поїздів (інтенсивність відновлення) є межа відношення кількості елементів потоку  $M$  на елементарному відрізку  $\Delta x$  до довжини цього відрізка, якщо  $\Delta x$  прямує до нуля, за умови, що початок відрізка знаходиться від найближчого попереднього елементу потоку на відстані  $t$ :

$$h(t) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{M(t)}{\Delta x}. \quad (4)$$

Рівняння (3) можна вирішити декількома способами. Як показали статистичні дослідження міжпоїздні інтервали розподілені за логнормальним законом. При такому законі розподілу міжпоїздних інтервалів аналітичного рішення рівняння (3) не існує. Тому запропоновано вирішити це рівняння чисельно за допомогою методу трапецій [6,7].

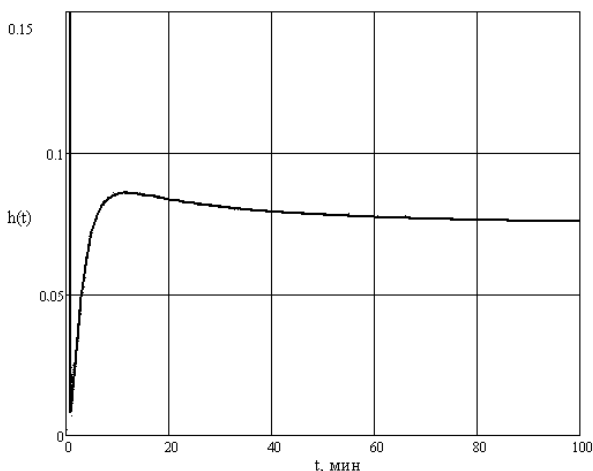


Рисунок 3 – Функція інтенсивності потоку поїздів дослідної ділянки

Поведінка функції  $h(t)$  сильно залежить від коефіцієнта варіації міжпоїздного інтервалу. Граничними значеннями для  $h(t)$  є: константа - для найпростішого потоку, коли післядія зовсім відсутня; послідовність  $\delta$  – функцій для регулярного потоку поїздів, які розташовані один від одного на відстані математичного очікування міжпоїздного інтервалу.

На рис. 3 наведено вид інтенсивності потоку поїздів для дослідної ділянки, що одержано чисельним інтегруванням рівняння Вольтерра 2-го роду.

### Маса поїздів

Підвищення маси поїздів, інтенсифікація технологій є прогресивним напрямом розвитку залізничного транспорту, особливо для вантажонапружених ліній. Наприклад, якщо дільниця пропускає в середньому за добу 57 вантажних поїздів з середньою масою 3134 т з інтенсивністю 2.38 поїздів за годину з середнім інтервалом між вантажними поїздами 25.3 хв., при зростанні маси поїзда до 4500 т число вантажних поїздів  $N$  зменшиться до 40 поїздів:

$$N = \frac{57 \times 3134}{4500} = 40, \text{ а середній інтервал збільшиться до } 25.3 \text{ хв.}$$

Збільшення маси поїзда скорочує інтенсивність транспортного потоку. У даному випадку середня інтенсивність транспортного потоку скоротилася з 2.38 поїздів за годину до 1.67 при одній і тій же масі перевезеного вантажу. Збільшення маси і довжини поїздів скорочує також густину транспортного потоку. Так, для даного прикладу, якщо прийняти довжину дільниці 73 км, при масі поїзда 3134 т і дільничній швидкості 40 км/год, густина потоку складе:

$$\lambda_{3134T} = \frac{(73/40) \times 2.38}{73} = 0.06 \text{ поїздо/км,}$$

тобто на кожних 100 км лінії в середньому доводиться 6 одночасно перебуваючих на ділянці поїздів. При масі поїзда 4500 т і тих же вихідних даних густина складе поїздо/км:

$$\lambda_{4500T} = \frac{(73/40) \times 1.67}{73} = 0.04 \text{ поїздо/км,}$$

тобто на кожних 100 км лінії - 4 одночасно перебуваючих на ділянці поїздів. Це створює кращі умови для зменшення впливу один на одного поїздів в процесі руху, підвищення надійності їх пропуску і поліпшення управління транспортним потоком на дільницях. Поєднання маси різних поїздів, її розподіл по дільниці безпосередньо впливає і на систему електропостачання залізниці. На рис. 4 наведено гістограму розподілу маси поїздів.

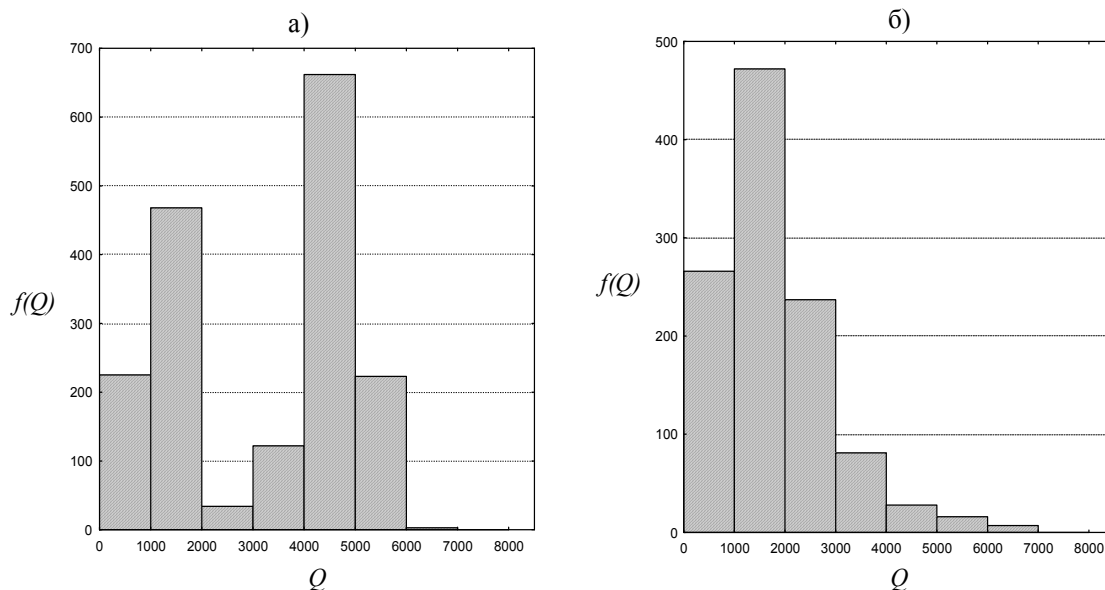


Рисунок 4 – Гістограми розподілу маси поїздів:  
а) непарний напрямок; б) парний напрямок

## Висновки

1. У зв'язку з невинним зростанням питомої ваги електротяги в експлуатаційній роботі, збільшенням вантажнапруженості основних напрямів електрифікованих ділянок, непропорційним коливанням об'ємів вантажних перевезень, використанням надмірної потужності систем тягового електропостачання виникає необхідність зниження втрат електроенергії за рахунок оптимізації показників транспортного потоку на базі енергооптимальних технологій.

2. Встановлено, що випадкова величина - міжпоїздний інтервал - підпорядковується логнормальному закону.

3. Показано, що інтенсивність транспортного потоку можна розрахувати на основі вирішення рівняння Вольтерра 2-го роду.

4. Результати наведених досліджень доцільно використати для визначення раціональних режимів системи тягового електропостачання.

## Література

1. Доманский В.Т. Энергооптимальная технология перевозочного процесса [Текст] / В.Т. Доманский, В.П. Кручина, А.П. Юшкевич // Железнодорожный транспорт.-1993.-№№5.-С.6-13.
2. Землянов В.Б. Энергооптимальные технологии анализа та регулювання електроспоживання на тягу поїздів [Текст]:автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.09 / В. Б. Землянов; [ДНУЗТ].-Д.:2000.-23 с.
3. Землянов В.Б. Интегрированная информационная технология перевода тяговых подстанций на много-тарифную оплату за потребленную электроэнергию [Текст] / В.Б. Землянов, В.В. Скалозуб, В.В. Доманский // Железнодорожный транспорт.-2000.-№№3.-С.41-43.
4. Левин Д.Ю. Оптимизация потоков поездов [Текст] / Д.Ю. Левин.-М.:Транспорт,1988.-175с.
5. Мирошниченко Р. И. Режимы работы электрифицированных участков [Текст] / Р.И. Мирошниченко.-М.:Транспорт,1982.-207с.
6. Почаевец Э.С. Обобщенные методы анализа режимов системы тягового электроснабжения [Текст]: учебное пособие / Э.С. Почаевец.-Днепропетровск:ДИИТ,1981.-55с.
7. Kuznetsov V. G. Elaboration of methodology for calculation of traction power-supply system with the help of renewal stream theory [Текст] / V.G. Kuznetsov, G. Vaiciunas // Transbaltica 2009.Proceedings of the 6-th international scientific conference.-2009.-Vilnius:Vilnius Gediminas Technical University.-С.123-128.
8. Скалозуб В.В. Ресурсозберігаючі методи управління тягою поїздів і удосконалення конструкцій рухомого складу [Текст]:автореф. дис. докт. техн. наук : 05.22.07 / В. В. Скалозуб; [ДНУЗТ].-Д.:2003.-37 с.

**Резюме**

**Ключові слова:** транспортний потік, електрифікована ділянка

Проведено исследование показателей транспортного потока  
на электрифицированном участке

Виконано дослідження показників транспортного потоку на  
електрифікованій ділянці

The parameters of a transport flow of the electrified line are  
explored

*Поступила 12.03.2010 г.*