

*Канд. техн. наук А.В. Прохорченко,
О.І. Тревогін, О. Болкун*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ НА ОСНОВІ ПОБУДОВИ ПАРАМЕТРИЧНИХ ФУНКЦІЙ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІД ЩІЛЬНОСТІ ПОЇЗДОПОТОКІВ

Представив д-р техн. наук, професор О.М. Огар

Вступ. Для вирішення задач підвищення ефективності функціонування залізничної мережі України потребують теоретичного обґрунтування підходи щодо визначення раціональних параметрів функціонування інфраструктури залізничних напрямків у частині пропуску поїздопотоків за умови раціоналізації витрат на здійснення перевезень та надання послуг з перевезення заявленої якості. Пошук за аналітичними розрахунками наявної пропускної спроможності залізничного напрямку не дозволяє визначити реально можливу пропускну спроможність при заданому рівні якості послуг відповідно до потрібної потужності вагонопотоків, що прямують у поїздах різних категорій. Це призводить до невідповідності заявлених умов прямування поїздопотоків на залізничних напрямках з існуючими їх розмірами і, як наслідок, виникає перевантаження поїздо-дільниць за напрямками, що утворює додаткові експлуатаційні витрати та зниження пропускної спроможності напрямків та мережі в цілому.

Постановка задачі. Одним із підходів щодо вирішення існуючої проблеми є встановлення теоретично обґрунтованих технічних і технологічних обмежень на залізничних дільницях за допомогою параметричних моделей розрахунку пропускної спроможності, які ґрунтуються на експериментальних дослідженнях щодо визначення

параметричних функцій залежності між інтенсивністю та щільністю поїздопотоків у реальних умовах роботи залізничних дільниць [1]. Такий підхід дозволяє більш точно врахувати фізику транспортного потоку на макрорівні функціонування інфраструктури.

Вирішення задачі. З метою визначення завантаженості залізничних напрямків проведено дослідження транспортного потоку з точки зору взаємозалежностей його характеристик [2], до яких слід віднести такі параметри: інтенсивність руху, швидкість руху (дільнична швидкість) та щільність на поїздо-дільниці (кількість поїздів на 1 км шляху).

За вихідний статистичний матеріал обрано час прибуття та відправлення всіх поїздів по дільниці Колосівка – Одеса-Сорт Одеської залізниці протягом жовтня 2012 року. На підставі зазначених даних проведено додаткові розрахунки, відповідно до яких кількість поїздів варіюється у межах від 30 до 57 пар поїздів на добу, інтенсивність – відповідно від $1,25 \text{ год}^{-1}$ до $2,375 \text{ год}^{-1}$, дільнична швидкість – у межах від 26,9 км/год до 61,5 км/год, інтервал відправлення – від 0,42 год до 0,8 год, середній час перебування на дільниці – від 2,129 год до 4,86 год, кількість поїздів, що одночасно перебувають на дільниці, – від 3 до 9, щільність поїздів на 1 км – від 0,021 до 0,068. З урахуванням того, що дільниця

Колосівка – Одеса-Сорт є одноколісною з двоколійними вставками, розрахунки проведено з узагальненням показників для обох напрямків руху, інтенсивність прийнята в розрахунок на пару поїздів.

Між швидкістю, щільністю потоку і інтенсивністю руху поїздів існує співвідношення, яке називається фундаментальним виразом транспортного потоку або поїздопоту [1-3],

$$L(R) = R \cdot V(R), \quad (1)$$

де L – інтенсивність руху, пар поїзд/год; R – щільність потоку, пар поїзд/км; V – дільнична швидкість руху поїздів, км/год.

Всі три величини в цьому виразі перебувають у складному взаємозв'язку, тому неможливо аналізувати його, фіксуючи одну із них і довільно змінювати значення іншої. На першому етапі експериментальних досліджень у роботі визначено залежність добової інтенсивності від середньої дільничної швидкості для дільниці Колосівка – Одеса-Сорт, що наведено на рис. 1.

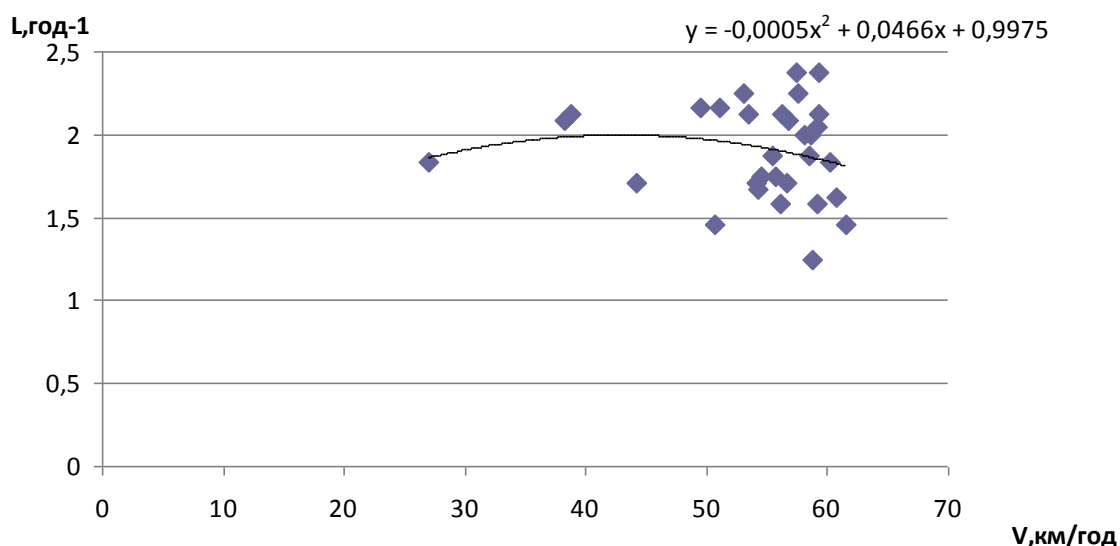


Рис. 1. Залежність добової інтенсивності від середньодобової дільничної швидкості для обох напрямків на дільниці Колосівка – Одеса-Сорт

Знайдена залежність $L(V) = 0,0005 \cdot V^2 + 0,0466 \cdot V + 0,9975$ дозволяє лише наближено апроксимувати дані, причому отримана область точок при значенні дільничної швидкості в інтервалі між 50 та 65 км/год підтверджує справедливості теореми трьох фаз Кернера [4, 5]. Дана теорія свідчить, що коли рух стає досить щільним, поїзди вже не можуть пропускатися вільно і змушені погоджувати свою швидкість зі швидкістю потоку. В цьому синхронізованому потоці формуються кластери поїздів, які переміщуються по залізничній дільниці як

єдине ціле. Як результат, виникає двовимірний простір можливих станів поїздопоту – так звана область сильно розсіяних станів. Це означає, що існує нескінченне число значень пропускної спроможності, яка знаходиться в деякій області між мінімальним і максимальним значеннями. Відповідно до залежності на рис. 1 видно, що в цьому стані поїздопотік є нестабільним, тобто реалізація дільничної швидкості 60 км/год може бути досягнута як при інтенсивності $1,4 \text{ год}^{-1}$, так і при інтенсивності $2,37 \text{ год}^{-1}$.

Залежність дільничної швидкості від щільності поїздів на дільниці має вигляд

експоненційної залежності з параметрами:
 $V(R) = 92,463 \cdot \exp^{-15,147 \cdot R}$ (рис. 2).

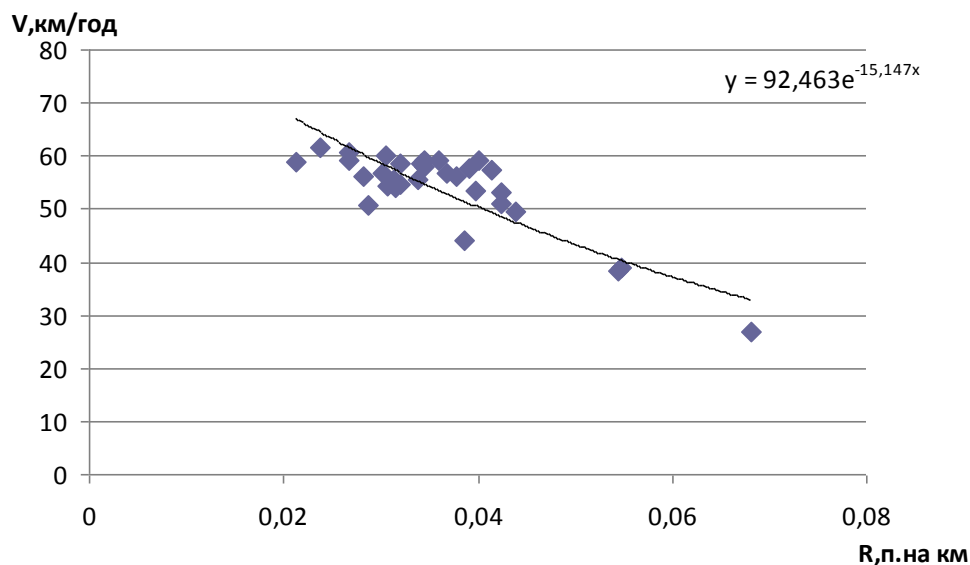


Рис. 2. Залежність дільничної швидкості від щільності поїздів на 1 км для обох напрямків на дільниці Колосівка – Одеса-Сорт

Найбільш важливим для визначення завантаження напрямку є залежність між інтенсивністю та щільністю поїздів, ця залежність може бути описана поліномом другого порядку (рис. 3). Для поїздо-

дільниці Колосівка – Одеса-Сорт дана залежність має вигляд

$$L(R) = -348,7 \cdot R^2 + 133,08 \cdot R - 1,0321. \quad (2)$$

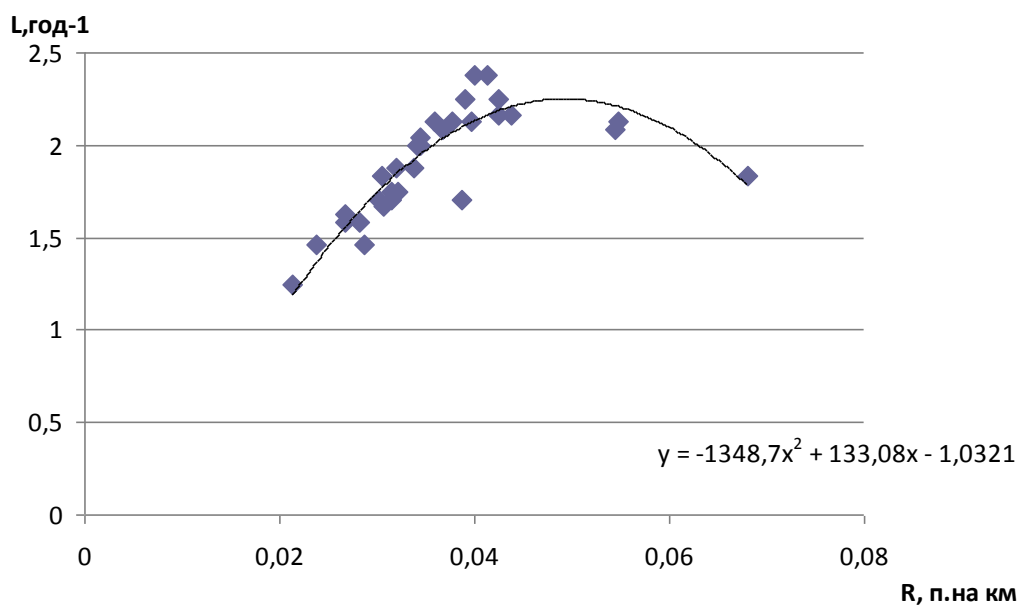


Рис. 3. Залежність інтенсивності від щільності поїздів на дільниці Колосівка – Одеса-Сорт

Використовуючи даний аналітичний вираз, отримано параболічну криву, яка дозволяє визначити критичне завантаження дільниці (рис. 4).

Відповідно до результатів моделювання (рис. 4) для поїздо-дільниці

Колосівка – Одеса-Сорт максимальне значення інтенсивності складає $2,25 \text{ год}^{-1}$ при щільності поїздів на кілометр – $0,0497$, що відповідає добовим розмірам руху 54 пари поїздів з інтервалом відправлення $0,45 \text{ год}$.

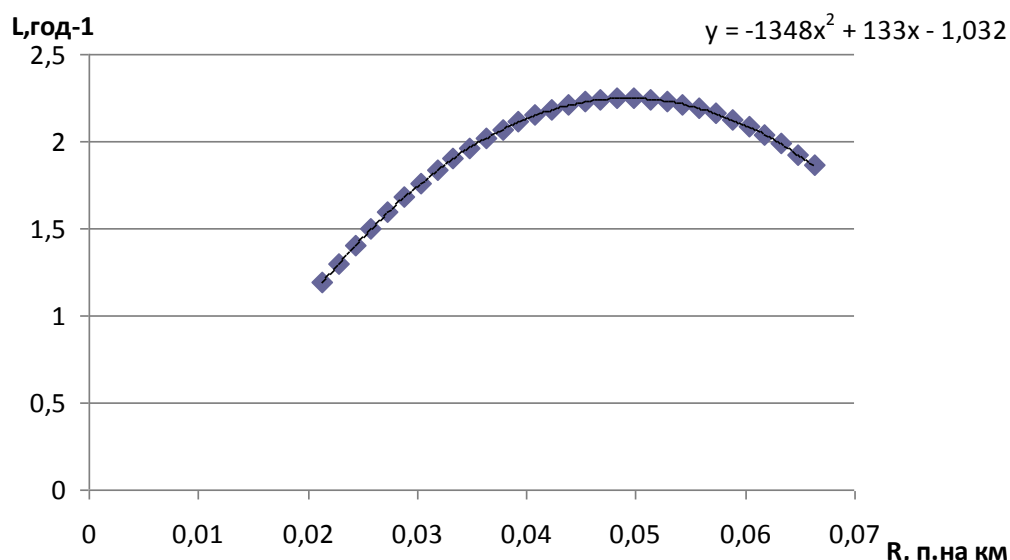


Рис. 4. Графік результатів моделювання залежності інтенсивності від щільності поїздів на дільниці Колосівка – Одеса-Сорт

Висновки. Слід зазначити, що застосування знайдених залежностей для визначення пропускної спроможності обмежена умовами дільниці, що досліджується. Крім того, дані залежності справедливі за умови незмінного режиму експлуатації розрахункової дільниці. Але все ж таки запропонований підхід дозволяє обґрунтовано встановлювати раціональну кількість поїздів різних категорій у графіку руху і, як наслідок, встановлювати

обмеження на можливість здійснення перевезень. Отже, на основі проведеного дослідження доведено, що для розрахунку пропускної спроможності, яку реально можна реалізувати на практиці, досить ефективно застосовувати методи розрахунку на основі параметричних моделей, які більш точно дозволяють врахувати фізику поїздопотоків на макрорівні функціонування залізничної інфраструктури.

Список літератури

1. Левин, Д.Ю. Оптимизация потоков поездов [Текст] / Д.Ю. Левин. – М.: Транспорт, 1988. – 175 с.
2. Shvetsov, V. Macroscopic dynamics of multilane traffic / V. Shvetsov, D. Helbing // Phys. Rev. E. – 1999. – Vol. 59. – P. 6328-6339.
3. Greenberg, H. An Analysis of Traffic Flows/ H. Greenberg // Oper. Res. – 1959. – V. 7. – P. 79-85.

4. Кленов, А.С. Теория Кернера трех фаз в транспортном потоке – новый теоретический базис для интеллектуальных транспортных технологий [Текст] / А.С. Кленов // Труды МФТИ. — 2010. – Т. 2. – № 4. – С. 75-89.

5. Kerner B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. – Berlin: Springer, 2009. – 278 p.

Ключові слова: пропускна спроможність, поїздопотік, діаграма транспортного потоку, дільнична швидкість, щільність, інтенсивність.

Анотації

Робота присвячена дослідженню пропускної спроможності залізничної інфраструктури. Запропоновано метод розрахунку пропускної спроможності на основі параметричних моделей, який дозволяє визначити раціональні співвідношення між інтенсивністю та щільністю поїздопотоків на дільниці. Даний підхід надає можливість більш точно врахувати фізику поїздопотоків на макрорівні функціонування залізничної інфраструктури.

Работа посвящена исследованию пропускной способности железнодорожной инфраструктуры. Предложен метод расчета пропускной способности на основе параметрических моделей, который позволяет определить рациональные соотношения между интенсивностью и плотностью поездопотоков на участке. Данный подход позволяет более точно учесть физику поездопотоков на макроуровне функционирования железнодорожной инфраструктуры.

The work is devoted to investigation of railway infrastructure capacity. The method of calculating the bandwidth based on parametric models that allows determining optimal ratio between the intensity and density flow train on site. This approach allows you to more accurately take into account the physics flow train at the macro level of functioning railway infrastructure.