

УДК 656.027

**МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ШВИДКІСНОГО РУХУ У
ВЕЛИКИХ МІСТАХ НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОПИТУ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ**

Кандидати техн. наук В. М. Запара, Я. В. Запара, магістранти В. В. Ільєнко,
Є. О. Семенюк, В. В. Червяков

**МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СКОРОСТНОГО
ДВИЖЕНИЯ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПРОСА НА
ПЕРЕВОЗКИ**

Кандидаты техн. наук В. М. Запара, Я. В. Запара, магистранты В. В. Ильенко,
Е. А. Семенюк, В. В. Червяков

**MODEL OF FORMATION OF THE RAILWAY SYSTEM IN THE LARGE CITIES ON
THE BASIS OF DETERMINING THE DEMAND FOR TRANSPORTATION**

Ph.D. (Candidates of Techn. Scien.) V. Zapara, Y. Zapara, master students V. Pienko,
Y. Semeniyuk, V. Chervyakov

Запропоновано підходи до визначення попиту на швидкісні залізничні пасажирські перевезення у великих містах, розроблено теоретичні основи реалізації інтервальної концепції моделювання попиту на переміщення. У подальшому подані дослідження можуть бути використані для визначення доцільності функціонування швидкісних пасажирських перевезень у великих містах, компонування составів та складання розкладу руху швидкісних поїздів, побудови та реконструкції залізничної інфраструктури.

***Ключові слова:** попит, швидкісний рух, залізничні перевезення, великі міста, пасажиропотік, інтервальна концепція.*

Предложены подходы для определения спроса на скоростные железнодорожные пассажирские перевозки в крупных городах, разработаны теоретические основы реализации интервальной концепции моделирования спроса на передвижения. В дальнейшем представленные исследования могут быть использованы для определения целесообразности функционирования скоростных перевозок в крупных городах, компоновки составов и составления расписания движения скоростных поездов, строительства и реконструкции железнодорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: *спрос, скоростное движение, железнодорожные перевозки, крупные города, пассажиропоток, интервальная концепция.*

The offered approaches to the definition of demand for high-speed rail passenger transportation in large cities, the theoretical bases of realization of the interval concept of modeling of demand for movement are developed. The value of capacity of transport areas is proposed to be determined based on the results of surveys of passenger traffic on high-speed rail transport. This is due to the fact that these characteristics of the transport process are the most objective and stable. The calculation of capacity of transport areas is carried out in two main stages. At the first, the capacity for departure and arrival within the higher transport areas is determined. At the second stage, the values of the capacities of the higher transport areas are locally allocated between the transport areas within their borders. The main parameters for which the distribution is carried out is the population density and density of workplaces, taking into account the size of the transport areas. The basis for local distribution of capacities on large areas of urban territory, for which it is impossible to provide a large degree of detail of transport characteristics, may be the characteristics of resettlement and employment of the population. A prerequisite for modeling a passenger correspondence matrix is the implementation of a number of constraints in which the determination of demand for passenger high-speed rail services can be considered correct. The criteria for optimization are the amount of transport work and the average range of passengers.

The conducted research is the basis for developing a model of job density and building an imitation model for the formation of demand conditions for high-speed rail passenger traffic in large cities.

Subsequent studies may be used to determine the expediency of high-speed passenger transportation in large cities, layout of compilations and scheduling of high-speed trains, construction and reconstruction of railway infrastructure.

Keywords: *demand, high-speed traffic, rail transportation, large cities, passenger traffic, interval concept.*

Вступ. В умовах розвитку швидкісних залізничних перевезень визначення попиту пасажирів на їх користування є ключовим аспектом формування та економічного обґрунтування появи швидкісних ліній, побудови та реконструкції необхідної інфраструктури та організації руху швидкісних поїздів.

На сьогодні існує декілька перспективних проектів розвитку швидкісного залізничного руху в Україні, серед них швидкісна лінія у місті Київ, від станції Київ-Пасажирський до аеропорту

Бориспіль, що дасть змогу зменшити навантаження на шляхову мережу, скоротити час перебування пасажирів у дорозі за цим напрямком та підвищити комфорт переміщення. Під швидкісним залізничним рухом у великих містах будемо розуміти курсування швидкісних поїздів між транспортними районами міста для задоволення потреб пасажирів у переміщенні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвитку швидкісного залізничного руху, зокрема його функціонуванню у

великих містах, присвяченні відомі праці Бараша Ю. С., Бутько Т. В., Луніної Т. А., Момота А. В., Торопова Б. І., Огара О. М. тощо [1-9].

В [1] формалізовано процес організації пасажиропотоків при пересадках на основі мікрорівневої моделі організації потоків пасажирів з використанням мультиагентних методів, який не в повній мірі враховує попит пасажирів на швидкісні поїзди. У роботі [2] при здійсненні процесу пересадки на вокзалі за варіантом «пасажирський поїзд – міський транспорт» не враховано окремо швидкісний залізничний рух. В [3] запропоновано через визначення розподілу величини щільності потоку пасажирів встановлювати значення найбільш імовірної щільності переміщення потоків тими чи іншими пішохідними комунікаціями і в подальшому використовувати знайдені параметри при розрахунках необхідної пропускної спроможності, але запропонований метод складний для збору та обробки статистичних параметрів пасажиропотоків. У [4] визначено оптимальний графік побудови обігу швидкісних поїздів у залізничних вузлах, що дає можливість вивільнення составів швидкісних поїздів для подальшого їх раціонального використання на інших полігонах залізниць для задоволення потреб пасажирів, але не зазначено, як визначити потреби пасажирів у користуванні швидкісними поїздами. В працях [5–6, 8] запропоновано підхід до визначення раціональних швидкостей руху пасажирських поїздів та раціональних зон курсування, в якому не враховано місткість транспортних районів великих міст. У [7] при визначенні ефективності проекту швидкісного руху пасажирських поїздів не досліджувалися результати обстежень пасажиропотоків на швидкісному залізничному транспорті для врахування потреб жителів міст як потенційних користувачів швидкісними поїздами. В праці [9] визначено раціональне місце

розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у залізничному вузлі з урахуванням множини факторів, зокрема і попиту жителів районів міста, але не визначено шляхів, як реалізувати будівництво зазначеної станції у щільній місцевій забудові. В цілому слід зазначити, що при технологічно-економічному обґрунтуванні конкуруючих варіантів перевезення на конкретному напрямі для впровадження швидкісного руху вітчизняні вчені не в повній мірі враховують фактори формування попиту на послуги швидкісного залізничного транспорту, наприклад [10]. В [11] дослідження зорієнтовані на планування роботи високошвидкісних перевезень без урахування щільності населення та робочих місць транспортних районів великих міст. У [12] здійснено поглиблене дослідження важливості різних підсистем у високошвидкісній мережі пасажирських перевезень і доведено, що комплексна теорія мережі може допомогти оптимізувати високошвидкісні мережі пасажирських перевезень і покращити ефективність трафіка. Не зрозуміло, однак, як ці дослідження будуть враховувати попит на переміщення пасажирів між містами та районами міст.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення залізничного швидкісного руху у великих містах. Завданням дослідження є розроблення підходів для визначення попиту на швидкісні залізничні пасажирські перевезення у великих містах на основі покрокової зміни величини пасажирської кореспонденції в матриці.

Основна частина дослідження. Матриця пасажирських кореспонденцій розглядається як результат випадкового розподілу місткостей транспортних районів між осередками матриці.

$$H = f(D_i, A_j), \quad (1)$$

де H – матриця пасажирських кореспонденцій;

D_i – місткість i -го транспортного району за відправленням у період «пік» (вечірні години, вихідні та святкові дні), пас/доб;

A_j – місткість j -го транспортного району за прибуттям у період «пік», пас/доб.

Значення місткостей транспортних районів запропоновано визначати на основі результатів обстежень пасажиропотоків на швидкісному залізничному транспорті. Це зумовлено тим, що ці характеристики транспортного процесу є найбільш об'єктивними та стабільними. Розрахунок місткостей транспортних районів виконується двома основними етапами. На першому визначаються місткості за відправленням і прибуттям у межах вищих транспортних районів (тобто зосереджених пунктів відправлення-прибуття пасажирів швидкісного залізничного пасажирського руху, що локально інтегрують транспортні райони, які розташовані в його межах, відповідно до щільності населення та щільності робочих місць) за період «пік»:

$$DG = PD + MD - T, \quad (2)$$

$$AG = PA + MA - T, \quad (3)$$

де DG – місткість вищого транспортного району за відправленням, пас/доб;

PD , PA – відповідно, пасажиропотік, що відправляється та прибуває в вищий транспортний район швидкісним залізничним транспортом, пас/доб;

MD – пасажиропотік, що відправляється з вищого транспортного району швидкісним залізничним транспортом, пас/доб;

T – транзитний пасажиропотік, пас/доб;

AG – місткість вищого транспортного району за прибуттям, пас/доб;

MA – пасажиропотік, що прибуває до вищого транспортного району швидкісним залізничним транспортом, пас/доб.

Для виконання умови збалансованості місткостей вищих транспортних районів, тобто $\sum_{V=1}^U DG_V = \sum_{S=1}^U AG_S$ (U – кількість вищих транспортних районів), виконано корегування значень AG_S відносно DG_V . Це обумовлено тим, що обсяги відправлень зі станцій швидкісного залізничного транспорту є достовірною інформацією завдяки автоматичній фіксації придбання квитків пасажирями при здійсненні поїздки.

На другому етапі значення місткостей вищих транспортних районів локально розподіляються між транспортними районами, що розташовані в їх межах. За основні параметри, відносно яких виконується розподілення, обрано щільність населення та щільність робочих місць з урахуванням розмірів транспортних районів:

$$D_i = DG \cdot D_i^T / \sum_{i=1}^Y D_i^T, \quad (4)$$

$$A_j = AG \cdot A_j^T / \sum_{j=1}^Y A_j^T, \quad (5)$$

де D_i^T , A_j^T – відповідно значення місткостей транспортних районів за відправленням і прибуттям, які визначено на основі щільності населення та робочих місць, пас/доб;

Y – кількість транспортних районів, що розташовані у вищому транспортному районі, од.

Необхідною умовою моделювання матриці пасажирських кореспонденцій є виконання низки обмежень, при яких визначення попиту на послуги пасажирського швидкісного залізничного транспорту можна буде вважати коректним. Критеріями оптимізації є величина транспортної роботи та середня дальність переміщення пасажирів.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^r h_{ij} = D_i, \\ \sum_{i=1}^r h_{ij} = A_j, \\ \sum_{i=1}^r D_i = \sum_{j=1}^r A_j = Q, \\ h_{ij}, D_i, A_j \geq 0, \end{array} \right. \quad (6)$$

де h_{ij} – величина кореспонденції між i -им та j -им транспортними районами, пас;

Q – обсяг перевезень пасажирів швидкісним залізничним транспортом за період «пiк», пас/доб;

r – кількість транспортних районів у місті, од.

Згідно з інтервальною концепцією, попит на послуги швидкісного залізничного транспорту необхідно описувати певною множиною матриць кореспонденцій. При цьому необхідно враховувати, що зміна значення кореспонденції лише в одному осередку матриці призводить до зміни всього її стану. Кожен такий стан матриці H_i оцінюється величиною транспортної роботи швидкісного залізничного транспорту b_i . Пошук екстремуму цієї величини на мінімум b_{\min} та максимум b_{\max} дає змогу отримати граничні стани попиту на переміщення населення великих міст. Таким чином, величина транспортної роботи $b_i \in [b_{\min}; b_{\max}]$, з огляду на те, що $b_{\min} = H_{\min}$ та $b_{\max} = H_{\max}$, отримуємо $H_i \in [H_{\min}; H_{\max}]$. З цього випливає, що кожен стан попиту на переміщення H_i належить певній множині його можливих станів Ω , яка характеризується значною потужністю, оскільки інтервал $[b_{\min}; b_{\max}]$ є надто великим. Граничні та наближені до них стани попиту є малоімовірними у зв'язку з тим, що, наприклад, у разі

$H_{\min} = b_{\min}$ більшість мешканців міста будуть закінчувати свої переміщення в тих самих транспортних районах, в яких вони розпочинали свій рух, чого насправді у великих містах не відбувається, це пояснюється розташуванням вокзалів на території міста. Отже, пошук найбільш імовірних варіантів матриці кореспонденцій дасть можливість скоротити ширину інтервалу можливих станів попиту на переміщення без втрати точності оцінки функціонування маршрутної системи міста. Для цього необхідно дослідити характер зміни величини транспортної роботи швидкісного залізничного транспорту при різних станах попиту на переміщення шляхом покрокової зміни матриці пасажирських кореспонденцій.

У рамках такої задачі перетворення матриці кореспонденцій необхідно розпочинати з нейтрального її стану, при якому величини кореспонденцій не залежать від характеристик переміщення. Такий стан матриці приймається як «стартовий», і з нього починається моделювання інших можливих варіантів попиту. Як вихідну інформацію для розрахунку цього стану доцільно використовувати лише значення місткостей транспортних районів за відправленням та прибуттям, оскільки вони відображають результат виконання переміщень пасажирів між певними містами і територіями міста. На основі цих даних з урахуванням загального обсягу перевезень швидкісного залізничного транспорту за період «пiк» можна визначити ймовірність відправлення та прибуття пасажирів у транспортні райони міст:

$$p_i = D_i / Q, \quad (7)$$

$$p_j = A_j / Q, \quad (8)$$

де p_i – ймовірність відправлення пасажирів з i -го транспортного району;

p_j – ймовірність прибуття пасажирів у j -й транспортний район.

У свою чергу величина кореспонденції в матриці при її

«стартовому» стані визначається за формулою:

$$h_{ij} = Q \cdot p_i \cdot p_j. \quad (9)$$

Це пояснюється тим, що

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^r h_{ij} &= \sum_{i=1}^r Q \cdot p_i \cdot p_j = Q \cdot p_j \cdot \sum_{i=1}^r p_i = Q \cdot p_j \cdot \sum_{i=1}^r \frac{D_i}{Q} = \\ &= Q \cdot p_j \cdot \frac{1}{Q} \cdot \sum_{i=1}^r D_i = p_j \cdot \sum_{i=1}^r D_i = p_j \cdot Q = A_j, \end{aligned} \quad (10)$$

і гарантується тим, що

$$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r p_{ij} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r p_i \cdot p_j = 1, \quad (11)$$

де p_{ij} – ймовірність виконання переміщення з i -го в j -й транспортний район.

Великою перевагою такого методу моделювання матриці пасажирських кореспонденцій є виконання умови (6) без проведення ітераційних розрахунків та

калібрування отриманих результатів. Наявність «стартового» стану матриці кореспонденцій дає змогу розпочати пошук інших станів попиту, кожен з яких отримується шляхом циклічного перетворення матриці за аналогією до методів розв’язання транспортної задачі лінійного програмування (рис. 1). Слід зазначити, що перехід матриці з одного стану в інший є результатом виконання декількох циклів, кількість яких для кожного переходу є випадковою величиною.

Номер ТР	1	2	...	j	...	r	D
1	$h_{11} - \min(h_{11}; h_{22}; h_{ij})$	h_{12}	...	$h_{1j} + \min(h_{11}; h_{22}; h_{ij})$	...	h_{1r}	D_1
2	$h_{21} + \min(h_{11}; h_{22}; h_{ij})$	$h_{22} - \min(h_{11}; h_{22}; h_{ij})$	...	h_{2j}	...	h_{2r}	D_1
...
i	h_{i1}	$h_{i2} + \min(h_{11}; h_{22}; h_{ij})$	...	$h_{ij} - \min(h_{11}; h_{22}; h_{ij})$	...	h_{ir}	D_i
...
r	h_{r1}	h_{r2}	...	h_{rj}	...	h_{rr}	D_r
A	A_1	A_2	...	A_j	...	A_r	...

Рис. 1. Варіант перетворення стану матриці кореспонденцій

У результаті виконання кожного перетворення матриці в загальному випадку відбувається зміна величини

транспортної роботи (ТР) та середньої дальності переміщення, через що ці показники прийнято за оцінні для кожного

стану попиту. Таким чином, процес зміни середньої дальності переміщення пасажирів у результаті виконання q -ої кількості циклів у t -му переході пропонується описувати таким чином:

$$l_1 = l_0 + \frac{\sum_{z=1}^q \Delta l_z \cdot \Delta h_z}{Q}, \quad (12)$$

при $\Delta l_z = \sum_{f=1}^d (-1)^f \cdot l_f,$ (13)

де l_0 – середня дальність переміщення пасажирів при «стартовому» стані матриці пасажирських кореспонденцій, км;

Δl_z – зміна відстані переміщення при реалізації одного циклу, км;

Δh_z – кореспонденції, що переміщуються циклом (випадкова величина), пас.;

q – кількість циклів в одному переході (випадкова величина), од.;

l_f – значення відстані переміщення для f -ої кореспонденції в циклі, км;

d – кількість осередків, що задіяні в циклі, $d > 4$, од.

Середня дальність переміщення при «стартовому» стані матриці кореспонденцій l_0 визначається виходячи з величини транспортної роботи при цьому стані попиту та обсягу перевезень

$$C_B = \frac{\prod_{i=0}^{k-1} (m-i) \cdot (n-i)}{k} \cdot (1 - (1 - (1 - p_0)^k)), \text{ якщо } m \neq n; m, n, k \geq 0, \quad (16)$$

де C_B – кількість можливих циклів у матриці пасажирської кореспонденції, од.;

m, n – відповідно кількість стовпців і рядків у матриці, од.;

k – кількість осередків з непарними номерами, що задіяні в циклі, $k = d/2$,

швидкісним залізничним транспортом за період «пік».

У свою чергу зміна величини транспортної роботи в результаті виконання q -ї кількості циклів у t -му переході має вигляд:

$$b_t = b_0 + \sum_{z=1}^q \Delta h_z \cdot l_z \cdot \Delta h_z \in [0; \Delta h_{z \max}], \quad (14)$$

$$\Delta h_{z \max} = \min(h_1, h_3, \dots, h_{d-1}), \quad (15)$$

де b_0 – величина транспортної роботи при «стартовому» стані попиту, пас.км;

h_z – значення кореспонденцій у непарних осередках, задіяних у циклі, пас.

Визначення характеру зміни величини транспортної роботи при різних станах попиту на переміщення потребує оцінювання можливої кількості цих станів. Методом індукції на основі базових залежностей комбінаторного аналізу і теорії ймовірностей побудовано математичну модель, що дає змогу, виходячи з розмірності матриці розрахувати кількість можливих циклів у ній. Модель ураховує ймовірність появи нульової кореспонденції в непарних осередках, що задіяні в циклі. Для випадку, коли кількість районів відправлень не збігається з кількістю районів прибуття, отримано такий вигляд моделі:

од.;

p_0 – ймовірність появи в матриці кореспонденції з нульовим значенням.

Величина Δl_z є результатом складання значної кількості випадкових

величин l_f , які належать до матриці відстаней L . Ці величини є нормально розподіленими, що підтверджено результатами досліджень. На основі цього висунуто гіпотезу, що величина транспортної роботи швидкісного залізничного транспорту розподілена за нормальним законом. Виходячи з того, що математичне сподівання величини L дорівнює $M(L) = \bar{l}$, отримуємо:

$$M(\Delta l_z) = M \sum_{m=1}^d (l_{pm} - l_{nm}) = 0, \quad (17)$$

де l_{pm}, l_{nm} – відповідно відстані переміщення в осередках з парними та непарними номерами, км.

На основі аналітичних залежностей отримуємо, що величина транспортної роботи розподілена за нормальним законом з математичним сподіванням:

$$M(b_i) = b_0 + \sum_{z=1}^p \Delta h_z \cdot 0 = b_0. \quad (18)$$

Гіпотеза про розподіл величини транспортної роботи швидкісного залізничного транспорту за нормальним законом потребує підтвердження результатами експериментальних досліджень, що стане основою для побудови імітаційної моделі формування станів попиту процесу пересування

пасажирів швидкісним залізничним пасажирським транспортом у великих містах.

Висновки. Запропоновано підходи для визначення попиту на швидкісні пасажирські залізничні перевезення у великих містах. Розроблено теоретичні основи визначення місткостей транспортних районів міст і реалізації інтервальної концепції моделювання попиту на переміщення.

Визначення місткостей транспортних районів міст за відправленням та прибуттям доцільно виконувати на основі даних про пасажиропотоки на швидкісному залізничному транспорті як найбільш об'єктивних та стабільних характеристик транспортного процесу. Основою для локального розподілення місткостей на великих ділянках міської території, для яких неможливий великий ступінь деталізації транспортних характеристик, можуть виступати характеристики розселення та зайнятості населення.

У подальшому визначення попиту на послуги залізничних швидкісних перевезень можуть бути використані для визначення доцільності функціонування швидкісних пасажирських перевезень між певними районами міст; компонування составів та побудови розкладу руху швидкісних поїздів; побудови нової та реконструкції існуючої інфраструктури.

Список використаних джерел

1. Бутко, Т. В. Формування моделі організації пасажиропотоків на залізничному пересадочному комплексі [Текст] / Т. В. Бутко, А. В. Єна, Т. Д. Дідур // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 164. – С. 37– 43.
2. Журба, О. О. Моделювання процесу пересадки пасажирів на залізничному вокзалі Харків-Пасажирський за варіантом «пасажирський поїзд – міський транспорт» [Текст] / О. О. Журба // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 60– 66.

3. Торопов, Б. І. Розвиток пасажирських комплексів на основі закономірностей формування пасажиропотоків [Текст] : автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.22.01 / Торопов Б. І.; Київський ін-т залізнич. трансп. – К., 2001. – 21 с.
4. Запара, Я. В. Оптимізація побудови графіка обігу швидкісних пасажирських поїздів у залізничних вузлах [Текст] / Я. В. Запара, І. В. Майоров, О. В. Петрів // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 173. – С.5-12.
5. Момот, А. В. Аналіз наукових підходів щодо обґрунтування економічної доцільності будівництва в Україні високошвидкісних магістралей [Текст] / А. В. Момот // Матеріали VI міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми економіки на залізничному транспорті ЕКУЖТ-2012», 11-13 жовтня, м. Судак. – К. : РВЦ ДЕТУТ, 2012. – С. 275-276.
6. Момот, А. В. Методичний підхід до визначення раціональних швидкостей руху пасажирських поїздів та раціональних зон курсування [Текст] / А. В. Момот // Проблеми економіки транспорту: зб. наук. праць ДНУЗТ ім. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ ім. В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 5. – С.80-89.
7. Лунина, Т. А. Совершенствование методики оценки эффективности вариантов проекта организации скоростного движения пассажирских поездов [Текст] / Т. А. Лунина, Е. В. Климова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 1. – С.165-168.
8. Бараш, Ю. С. Методичний підхід щодо визначення оптимальних зон курсування різних видів пасажирських поїздів [Текст] / Ю. С. Бараш, О. О. Матусевич // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2015. – Вип. 50. – С.169-176.
9. Визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у крупному залізничному вузлі [Текст] / О. М. Огар, М. С. Кужавський, Є. М. Кузнецов, М. В. Наумов // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 173. – С.42-51.
10. Аналіз перспектив впровадження високошвидкісного руху в Україні [Текст] / О. В. Лаврухін, О. О. Шапатіна, С. В. Газаєв [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 163. – С.4-10.
11. Espinosa-Aranda J. High-speed railway scheduling based on user preferences [Text] / J. Espinosa-Aranda [et. al.] // European Journal of Operational Research. – 2015, November. – Vol. 246. – P. 772-786.
12. Zhang, X. Study on node importance evaluation of the high-speed passenger traffic complex network based on the Structural Hole Theory [Text] / X. Zhang, B. Chen // De Gruyter Open. – 2017. – Vol. 15. – P. 1-11.

Запара Віктор Мефодійович, канд. техн. наук, професор кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85.
E-mail: v.zapara@gmail.com.

Запара Ярослав Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85.
E-mail: y.zapara@gmail.com.

Ільєнко Володимир Володимирович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: i.v.v.1988@ukr.net.

Семенюк Євгенія Олександрівна, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: semenyuk.nfr@gmail.com.

Червяков Віталій Вікторович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: raхан.8416@gmail.com

Запара Виктор Мефодиевич, канд. техн. наук, профессор кафедры управления грузовой и коммерческой работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. : (057) 730-10-85.
E-mail: v.zapara@gmail.com.

Запара Ярослав Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління грузовою і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. : (057) 730-10-85.

E-mail: y.zapara@gmail.com.

Ильенко Владимир Владимирович, магистрант ИППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: i.v.v.1988@ukr.net.

Семенюк Евгения Александровна, магистрант ИППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: semenyuk.nfr@gmail.com.

Червяков Виталий Викторович, магистрант ИППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: paxan.8416@gmail.com.

Zapara Victor, Ph.D., professor of management of freight and commercial work, Faculty of Railway Operation and Management, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85. E-mail: v.zapara@gmail.com.

Zapara Yaroslav, Ph.D., lecturer of management of freight and commercial work, Faculty of Railway Operation and Management, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85. E-mail: y.zapara@gmail.com.

Iliencko Volodymyr, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.

E-mail: i.v.v.1988@ukr.net.

Semeniuk Yevheniia, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.

E-mail: semenyuk.nfr@gmail.com.

Chervyakov Vitali, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.

E-mail: paxan.8416@gmail.com.

Статтю прийнято 29.05.2018 р.