

УДК 656.027(477)

**ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАСАЖИРОПОТОКІВ
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПЕРЕСАДОЧНОМУ КОМПЛЕКСІ**

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, А. В. Єна, Т. Д. Дідур

**ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПЕРЕСАДОЧНОМ КОМПЛЕКСЕ**

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, А. В. Ена, Т. Д. Дидур

**FORMING A MODEL OF PASSENGER TRAFFIC AT THE INTERCHANGE COMPLEX
ZALIZNYUANOMU**

Doc. techn. sciences T. V. Butko, A. V. Yena, T. D. Didur

У даній статті розглянуто умови інвестиційно-інноваційного розвитку економіки України, які мають забезпечити перехід до постіндустріального суспільства з характерною зміною структури транспортного ринку та необхідністю створення на базі існуючих залізничних вокзалів системи інтегрованих пересадочних комплексів.

Зазначена необхідність удосконалення залізничної транспортної системи дасть змогу залізницям надавати послуги нової якості, а отже, виграти конкурентну боротьбу особливо в галузі пасажирських перевезень.

Запропоновано подати мету пасажира та район пересадки у вигляді картографічної інформації, яка може бути подана у вигляді статичного потенційного поля φ у двовимірному просторі. Таким чином, розповсюдження пасажиропотоку відбувається в інформаційному полі.

Формалізовано процес організації пасажиропотоків при пересадках на основі мікрорівневої моделі організації потоків пасажирів з використанням мультиагентних методів, що на відміну від існуючих, дає змогу на рівні залізничного пересадочного комплексу забезпечити комфортні умови переміщення пасажирів з мінімальними витратами часу на пересадку, сформувати вимоги до технологічного процесу роботи пересадочного комплексу та визначити пропускну спроможність.

Ключові слова: залізничні вокзали, пасажирські перевезення, транспортний ринок, пересадочні комплекси, комфортні умови, пропускну спроможність.

В данной статье рассмотрены условия инвестиционно-инновационного развития экономики Украины, которые должны обеспечить переход к постиндустриальному обществу с характерным изменением структуры транспортного рынка и необходимостью создания на базе существующих железнодорожных вокзалов системы интегрированных пересадочных комплексов.

Указанная необходимость усовершенствования железнодорожной транспортной системы позволит железным дорогам предоставлять услуги нового качества, а также выиграть конкурентную борьбу, особенно в области пассажирских перевозок.

Предложено представить цель пассажира и район пересадки в виде картографической информации, которая может быть предложена в виде статического потенциального поля φ в двумерном пространстве. Таким образом, распространение пассажиропотока происходит в информационном поле.

Формализовано процесс организации пассажиропотоков при пересадке на основе микроуровневой модели организации потоков пассажиров с использованием мультиагентных методов, что в отличие от существующих, позволяет на уровне железнодорожного пересадочного комплекса обеспечить комфортные условия перемещения пассажиров с минимальными расходами времени на пересадку, сформировать условия к технологическому процессу работы пересадочного комплекса и определить пропускную способность.

Ключевые слова: *железнодорожные вокзалы, пассажирские перевозки, транспортный рынок, пересадочный комплекс, комфортные условия, пропускная способность.*

This article deals with the terms and conditions of investment and innovative development of Ukrainian economy, it should ensure the transition to a postindustrial society with the changes in the structure of the transport market and the necessary to build existing railway stations, integrated transit systems.

Identified the necessity to improve the rail transport system, that will enable railroads to provide service new quality, and win the competition, especially in the passenger transport.

It was presented the passenger's purpose and the place of transpland in the form of map information that can be represented in a static potential field in two-dimensional space. Thus, the distribution of passenger traffic occurs in the information system.

Formalized the organization process of passenger's flows in transit on the basis of micro-level model of organization passenger's flows using multi-agent methods, which allows for a level railway interchange complex to provide comfortable conditions of passengers' travel with minimal time for transpland, to generate requirements for technological process of the interchange of the complex and to determine the capacity.

Key words: *railway stations, passenger transportation, transportation market, transit systems, comfort, capacity.*

Вступ. В умовах інвестиційно-інноваційного розвитку економіки України, який має забезпечити перехід до постіндустріального суспільства з характерною зміною структури транспортного ринку, необхідним є вдосконалення залізничної транспортної системи на концептуальному рівні, що дасть змогу залізницям надавати послуги нової якості, а отже, виграти конкурентну боротьбу між видами транспорту за неосвоений сегмент ринку, особливо в галузі пасажирських перевезень [1].

Актуальність теми. Упровадження програми швидкісного руху пасажирських поїздів між основними містами-мегаполісами потребує перегляду зони покриття і системи організації маршрутів прямування пасажирських поїздів з необхідністю створення на базі існуючих залізничних вокзалів системи інтегрованих пересадочних комплексів. Обмежена дальність прямування швидкісних та високошвидкісних поїздів передбачає організацію швидкісних сполучень між вузлами (хабами) у всіх регіонах країни та перевезення на коротких плечах у зоні

тяжіння хабів. Така система організації перевезень призведе до збільшення навантаження на інфраструктуру залізничних вокзалів та потребує ефективного вирішення завдання реалізації подорожі пасажирів з пересадками «за єдиним квитком» з урахуванням мінімізації загального часу прямування.

Для ефективного вирішення науково-прикладного завдання організації пасажирських перевезень швидкісними та високошвидкісними поїздами в умовах інтегрованих залізничних пересадочних комплексів необхідним є ув'язка їх роботи на сітьовому рівні з можливістю проведення досліджень завантаження інфраструктури пересадочних комплексів для удосконалення технологій управління пасажиропотоками та координації різних видів міського транспорту в зоні тяжіння вокзалу. Механізмом реалізації цього завдання є створення структури управління на основі системи логістичних центрів з упровадженням сучасних інформаційно-керуючих систем, що пов'язано з необхідністю реалізації в об'єднаному комплексі автоматизованих робочих місць (АРМ) – системи підтримки прийняття рішень.

Аналіз попередніх наукових досліджень. Рациональне формування системи організації пасажирських перевезень на залізничному транспорті, а також її удосконалення ґрунтується на дослідженнях у галузі теорії організації пасажирських перевезень. Перші теоретичні та практичні дослідження з формування близьких до сучасних підходів організації залізничних пасажирських перевезень та технологічної роботи залізничних вокзалів почалися вже на початку 60-х років минулого сторіччя, зокрема в роботах Кочнева Ф. П. [2].

У подальший розвиток результатів досліджень у галузі організації пасажирських перевезень, а саме: розроблення плану формування пасажирських поїздів, удосконалення

роботи залізничних вокзалів, застосування інформаційних технологій в експлуатаційній роботі, зробили значний внесок такі вчені та практики: Т. В. Бутько, П. С. Грунтов, О. О. Журба, Ф. П. Кочнев, А. В. Прохорченко та ін. [2-5].

У перших дослідженнях професора Ф. П. Кочнева [2] запропоновано спосіб розрахунку плану формування пасажирських поїздів (ПФПП) для полігона мережі із семи станцій на основі техніко-економічних розрахунків. Із більш практично прийнятих комбінацій пунктів оборту пасажирських поїздів запропоновано визначити умовно оптимальний варіант плану формування на основі мінімізації приведених витрат шляхом формування графоаналічної моделі. Дана постановка задачі з причин складності проведення ручних розрахунків не передбачає подання залізничного вокзалу, як інтегрованого елемента єдиної системи пасажирських перевезень, що призводить до спрощення поставлених умов і не дає змоги врахувати обмеження на пропускну спроможність залізничних станцій та вокзалів, а знайдене рішення визначає доцільність лише безпересадочних сполучень і є близьким до оптимального.

Більш точним та ефективним підходом до визначення пропускну спроможності вокзалу є імітаційний метод. Так, у дослідженні Б. І. Торопова [6] на основі застосування методів математичної статистики та імітаційного моделювання з використанням методу ймовірнісного автоматного моделювання, запропонованого через визначення розподілу величини щільності потоку пасажирів, встановлювати значення найбільш імовірної щільності переміщення потоків по тих чи інших пішохідних комунікаціях і в подальшому використовувати знайдені параметри при розрахунках необхідної пропускну спроможності. Такий підхід дає змогу визначити найбільш придатне значення швидкості пересадочних потоків,

яке використовується для визначення радіуса зони пішохідної доступності вузлів пересадки. Але запропонований метод передбачає проведення дуже складних статистичних досліджень параметрів пасажиропотоків, які на різних залізничних вокзалах можуть значно відрізнятися. Для аналізу завантаження площ залізничного вокзалу Гуанчжоу (Китай) у роботі [8] запропоновано спосіб моделювання організації пасажиропотоків на основі клітинних автоматів з використанням генетичного алгоритму.

Викладення основного матеріалу.

Окрім перевірки на можливість організації пересадки, при її плануванні необхідним є

визначення параметрів, які характеризують процес пересадки. До таких параметрів належить маршрут переміщення потоків пасажирів при здійсненні пересадки та його тривалість, що визначає якісний показник реалізації пересадки – комфортність пересадки.

Для формалізації руху пасажирів на залізничному пересадочному комплексі необхідним є дослідження умов його роботи на основі статистичних даних щодо динаміки і параметрів пасажиропотоків. Ці дослідження були проведені в умовах станції Харків-Пасажирський протягом 2015 року. Результати дослідження наведені на рис. 1, 2.

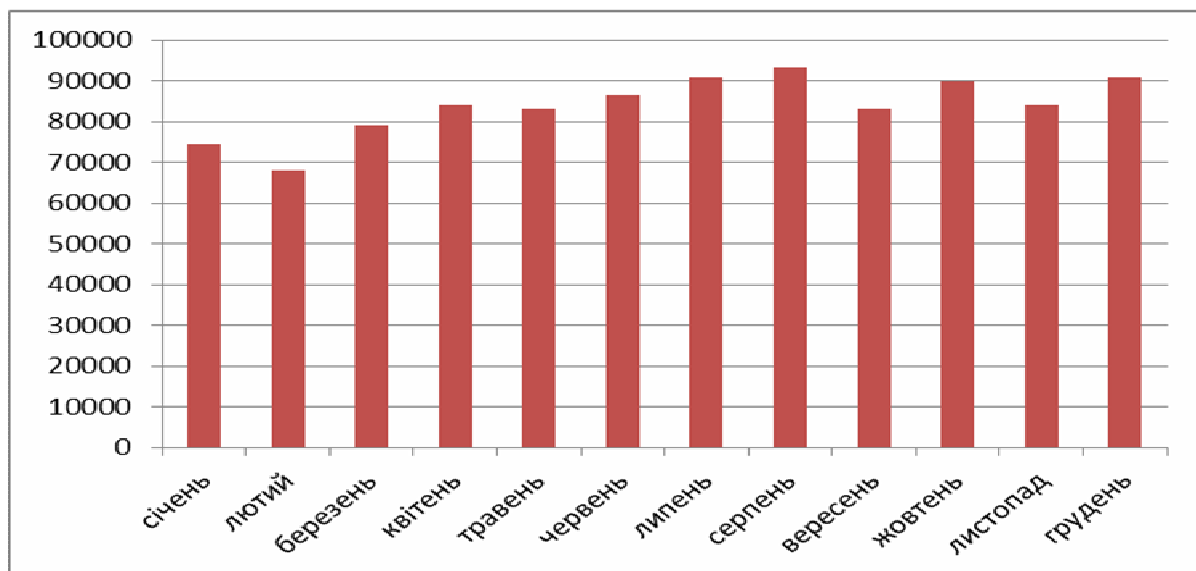


Рис. 1. Динаміка розподілу пасажиропотоку за місяцями року в умовах станції Харків-Пасажирський за 2015 рік

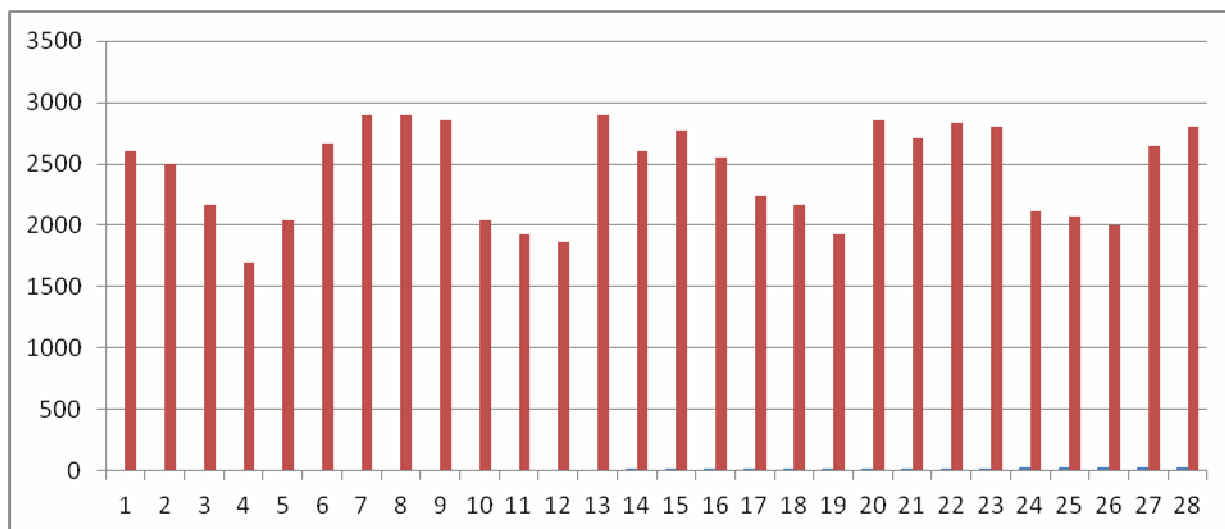


Рис. 2. Динаміка розподілу пасажиропотоку за днями місяця в умовах станції Харків-Пасажирський за лютий 2015 року

Для кількісної оцінки пасажиропотоку були розраховані основні показники, а саме: середнє значення – $\overline{N_{nac}} = 83954$ пас.; середнє квадратичне відхилення – $\delta_1 = 7008$ пас.; коефіцієнт нерівномірності – $k_i = 1,11$.

За цими спостереженнями на діаграмі доведено незначний вплив сезонного фактора розподілу пасажиропотоку за місяцями року.

Для кількісної оцінки пасажиропотоку були розраховані основні показники, а саме: середнє значення – $\overline{N_{nac}} = 2434$ пас.; середнє квадратичне відхилення – $\delta_1 = 381$ пас.; коефіцієнт нерівномірності – $k_i = 1,2$.

На основі аналізу цієї динаміки спостерігається вплив ефекту вихідного дня.

Ці фактори необхідно враховувати при формуванні моделі процесу розповсюдження пасажиропотоку з урахуванням статичних параметрів району пересадки.

Приймаючи за умову, що геометрія простору району пересадки та мета пасажирів не змінюються протягом всього сценарію здійснення пересадки, для спрощення розрахунків можна визначити дану інформацію до початку моделювання

динаміки руху пасажирів. Як наслідок, з початку моделювання процесу пересадки у кожного пасажирів ця інформація повинна існувати підсвідомо, що дає змогу йому виконувати послідовність дій згідно із заданим глобальним маршрутом, що записується у скрипті сценарію поведінки пасажирів (існуюча система орієнтування на вокзалі).

Для реалізації зазначеної умови в роботі запропоновано подати мету пасажирів та район пересадки у вигляді картографічної інформації, яка може бути подана у вигляді статичного потенціального поля φ у двовимірному просторі. Таким чином, розповсюдження пасажиропотоку відбувається в інформаційному полі. Ураховуючи фактори, яким надають перевагу пасажирів при виборі маршруту пересадки, умовою формування потенціальної функції поля на всій області визначення району пересадки є найкоротша відстань до глобальної мети та відчуття дискомфорту біля перешкод. Така потенціальна функція $\varphi(X, t)$ ($X = \{x, y\}$ – координати простору, t – час) у точці мети X_j дорівнює нулю, а на всьому іншому проміжку задовольняє рівняння Ейконала:

$$\|\nabla\varphi(X,t)\| = \frac{\alpha f + \gamma g}{f}, \quad (1)$$

де $\nabla\varphi(X,t)$ – градієнт функції $\varphi(X,t)$;

f – вектор швидкості;

g – статичне поле дискомфорту біля перешкод (стіни вокзалу, краї платформи, турнікети, огорожі тротуару тощо);

α, γ – вагові коефіцієнти факторів відстані до глобальної мети та відчуття дискомфорту біля перешкод. Для розв’язання отриманого рівняння (1) використано числовий метод Fast Marching Method, FMM [8].

Ідея так званого алгоритму швидкого маршування або FMM [9] полягає у перетворенні рівняння (1) у рівняння, що подано у частинних похідних

$$\nabla\varphi(X) = \left(\frac{\partial\varphi(X)}{\partial x}, \frac{\partial\varphi(X)}{\partial y} \right).$$

Розв’язання цих рівнянь виконується за процедурою

$$\begin{cases} x_i^{k+1} = x_i^k + f \cdot t \cdot \frac{\partial\varphi(X^k)}{\partial x}, \\ y_i^{k+1} = y_i^k + f \cdot t \cdot \frac{\partial\varphi(X^k)}{\partial y}. \end{cases}$$

де $\{x, y\} \in \Omega$, де Ω – множина що описує район пересадки; $f \cdot t$ – величина кроку моделювання.

Таким чином, розв’язання виконується за рахунок розширення межі з постійним модулем одиничної швидкості

($f = 1$) у напрямку нормалі до неї. За своєю суттю це є метод хвильової схеми обходу.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Формалізовано процес організації пасажиропотоків при пересадках на основі мікрорівневої моделі організації потоків пасажирів з використанням мультиагентних методів, що на відміну від існуючих, дає змогу на рівні залізничного пересадочного комплексу забезпечити комфортні умови переміщення пасажирів з мінімальними витратами часу на пересадку, сформулювати вимоги до технологічного процесу роботи пересадочного комплексу та визначити пропускну спроможність.

Для забезпечення взаємодії пересадочних комплексів на макро- та мікрорівнях необхідно розробити дворівневу структуру, що включає систему логістичних центрів, на верхньому рівні якої повинен бути створений головний логістичний центр для вирішення завдань стратегічного й тактичного планування. Тоді як на нижньому рівні пропонується створення в структурі управління залізничних пересадочних комплексів регіональних логістичних центрів для управління пасажиропотоками та координації взаємодії роботи залізничного та суміжних видів транспорту в зоні їх тягіння. Реалізація такої системи дає змогу підвищити ефективність прийняття рішень щодо управління роботою залізничних пересадочних комплексів за рахунок ув’язки їх роботи на сітьовому рівні.

Список використаних джерел

1. Древаль, И. В. Градоформирующая роль железнодорожных вокзальных комплексов [Текст] / И. В. Древаль // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДГУБА ХОТВ АБУ, 2009. – Вип. 47. – С. 115-119.
2. Кочнев, Ф. П. Пассажирские перевозки на железных дорогах [Текст]: учеб. пособие для ин-тов инж. ж.-д. трансп. / Ф.П. Кочнев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 351 с.

3. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок [Текст] / под ред. П. С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 544 с.
4. Бутько, Т. В. Моделювання розділу пасажиропотоків по поїздам на основі колективного інтелекту [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохоренко, О.О. Журба // Восточно-Европейский журнал передових технологий. – 2010. – № 2/4(44). – С. 44 – 47.
5. 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.
6. Тропов, Б. І. Розвиток пасажирських комплексів на основі закономірностей формування пасажиропотоків [Текст]: автореф. дис... канд.. техн. наук: 05.22.01 / Тропов Б.І.; Київський ін.-т залізнич. тр-ту Харківської держ. акад. залізнич. транспорту. – К., 2001. – 21 с.
7. Y. S. Yan, W. X. Li, Optimization Simulation of Passenger Organization at Passenger Station during Passenger – flow Rush Hours / Y. S. Yan, W. X. Li // Computer Simulation, 21. – 2004. – p. 167- 170.
8. Sethian J. A. Fast marching methods / J. ASethian // SIAM Review. - 1999. - V. 41 (2). – P. 199 – 235.
9. Гончаров, Д. А. Анализ методов построения объемных дистанционных карт [Текст] / Д.А. Гончаров, А.М. Недзьведь, С.В. Абламейко // Штучний інтелект. – 2009. – № 4. – С. 513-519.

Бутько Тетяна Василівна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-88.

Єна Аліна Василівна, студентка групи МЗ – TEMPUS – ОПУТ – Б – 15. Тел.: 0939731661.

Дідур Тетяна Дмитрівна, студентка групи МЗ – TEMPUS– ОПУТ–Б– 15.

Tatiana Butko, Dr. technical sciences, professor Head of management of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-88.

Jena Alina V., student group MR - TEMPUS - OPUT - B - 15. Tel. 0939731661.

Didur Tatiana D., student groups -TEMPUS- OPUT MR-B-15.

Стаття прийнята 15.09.2016 р.