

УДК 656.021.2

ПЛАНУВАННЯ ВІДПРАВЛЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ З УРАХУВАННЯМ УМОВ ТА КОН'ЮНКТУРИ РИНКУ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

Кандидати техн. наук О. А. Малахова, Г. М. Сіконенко,
магістранти О. В. Скорик, Р. Ю. Соломський

ПЛАНИРОВАНИЕ ОТПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ И КОНЪЮНКТУРЫ РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

Кандидаты техн. наук Е. А. Малахова, Г. М. Сиконенко,
магистранты А. В. Скорик, Р. Ю. Соломский

PLANNING OF PASSENGER TRAIN DEPARTURE TAKING INTO ACCOUNT THE CONDITIONS AND STRUCTURE OF THE MARKET OF TRANSPORT SERVICES

PhD (Tech.) O. Malakhova, G. Sikonenko, masters O. Skorik, R. Soloms'kyu

Підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту в сфері пасажирських перевезень можливо за рахунок підвищення швидкості переміщення пасажирів і якості послуг, що надаються. При плануванні відправлення поїздів необхідно враховувати такі чинники, як середні тарифи, густина руху по дільницях, нерівномірність прибуття по періодах доби, економічні показники. Планування відправлення поїздів може варіюватися в залежності від інтенсивності руху по днях тижня і періодах доби. При моделюванні враховуються обмеження з пропускнуої спроможності пасажирських і пасажирських технічних станцій, а також задоволення попиту пасажирів.

Ключові слова: пасажир, швидкісний поїзд, попит, послуга, планування.

Повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта в сфере пассажирских перевозок возможно за счет повышения скорости перемещения пассажиров и качества предоставляемых услуг. При планировании отправления поездов необходимо учитывать такие факторы, как средние тарифы, плотность движения по участкам, неравномерность прибытия по периодам суток, экономические показатели. Планирование отправления поездов может варьироваться в зависимости от интенсивности движения по дням недели и периодам суток. При моделировании учитываются ограничения по пропускной способности пассажирских и пассажирских технических станций, а также удовлетворение спроса пассажиров.

Ключевые слова: пассажир, скоростной поезд, спрос, услуга, планирование.

Improving the competitiveness of rail transport in the field of passenger transport is possible by increasing the speed of movement of passenger transport and the quality of services provided. With the growth of mobility of population, high-speed passenger transport should constantly develop; expand the boundaries of the high-speed passenger trains. However, in recent years there has been a decrease of the number of passengers carried by the railroad with the transition to alternative means of transport: air and automobile transport. Aviation transport attracts with flexibility of tariffs and speed of delivery and automobile transport attracts with the intensity of bus departure and the possibility to choose the convenient time of departure and arrival at the final destination. The article considers the issue of planning the departure of passenger trains, taking into account the minimization of parking time and the cost of organizing the traffic. Planning of transportation is fundamental in the organization of transport and the foundation for maximizing the overall profit of the railway company. The complexity of planning is due to the need to build schedules corresponding to the variable demand of passengers. Making accurate forecasts that take into account reliable information about demands of the passengers according to the seasons of the year, months and days of the week is difficult to formalize. While planning the departure of trains, it is necessary to take into account such factors as average tariffs, traffic density on sections, uneven arrival in different periods of the day, economic indicators. Planning of departure of trains may vary depending on the intensity of movement by days of the week and periods of the day. The modeling takes into account restrictions of the capacity of passenger and passenger technical stations, as well as meeting the demands of passengers. The results of calculations showed the uneven departure of trains with pronounced "peak" periods in the morning and evening hours, which may limit the capacity of passenger stations. Simultaneous arrival of trains of the same category (high-speed) results in additional loading of the passenger compartment of technical stations.

Keywords: *passenger, high-speed train, demand, service, planning.*

Вступ. В умовах жорсткої конкуренції на ринку транспортних послуг перевезення пасажирів підвищення швидкості стає невід'ємною частиною перевізного процесу. Аналіз розвитку та стану залізничного транспорту вказує на дану тенденцію у всіх економічно розвинутих країнах світу. Із зростанням мобільності населення швидкісний залізничний транспорт повинен постійно розвиватися, розширюватися мережі курсування швидкісних пасажирських поїздів. Однак в останні роки спостерігається зниження пасажиропотоків, що перевозяться залізничним транспортом, з переходом на альтернативні види транспорту: авіаційний та автомобільний. Авіаційний приваблює гнучкістю тарифів та швидкістю доставки, а автомобільний – інтенсивністю відправлення автобусів, особливо на короткі та середні (до 300 км) відстані, та можливістю вибору зручного часу відправлення та прибуття на кінцевий пункт.

У зв'язку з цим підвищення привабливості залізничного транспорту у сфері пасажирських перевезень можливе лише за рахунок впровадження інноваційних проектів, до яких відносяться швидкісні та високошвидкісні перевезення. Такі проекти для залізниць України є відносно новими, тому і питання, пов'язані з плануванням перевезень швидкісними поїздами, є актуальними. Світовий досвід перевезень швидкісними та високошвидкісними поїздами доводить, що найбільшу економічну ефективність залізничний транспорт має при перевезенні пасажирів на відстанях 300–800 км, при цьому обсяги пасажирських перевезень саме таким видом транспорту повинні бути не меншими за 8–10 млн пасажирів на рік.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням розвитку швидкісного та високошвидкісного пасажирського залізничного руху приділялось достатньо

уваги в роботах вчених різних країн світу. Так, у [1] розглянута оптимізаційна модель організації перевезень у швидкісних поїздах, яка, з одного боку, спрямована на задоволення попиту пасажирів в частині часу відправлення поїздів, а з другого, на зменшення витрат палива та електроенергії при організації руху поїздів.

У роботі [2] на основі імітаційного моделювання запропоновано визначати розклад прибуття та відправлення швидкісних поїздів з урахуванням станцій з масовою посадкою/висадкою.

Автори [3–5] зосередили увагу на складанні розкладу руху пасажирських поїздів за умови наявності практичної пропускної спроможності дільниць та станцій. При цьому автори [4] вирішують і актуальну проблему конфліктних ситуацій при розробці графіків руху поїздів. В статті [5] на основі моделі Rail Scheduling and Rolling Stock (RSch-RS) запропоновано при плануванні моментів відправлення враховувати пропускну спроможність інфраструктури та попит пасажирів.

Однак дані роботи не вирішують питань, пов'язаних із організацією планування пропуску швидкісних поїздів по станціях маршруту з урахуванням мінімізації стоянок та витрат на організацію руху.

Визначення мети та завдання дослідження. Таким чином, мета даної роботи полягає у розробці моделі планування відправлення швидкісних поїздів із визначенням маршрутів за умови мінімізації витрат на організацію руху та задоволення попиту пасажирів щодо часу прямування. Дана мета потребує розв'язання таких завдань:

- аналіз досліджень в сфері організації пасажирських перевезень, в тому числі на швидкісних та високошвидкісних магістралях;

- установлення закономірності планування відправлення пасажирських поїздів з урахуванням мінімізації стоянок,

завантаження станцій та задоволення попиту пасажирів.

Основна частина дослідження. Планування перевезень є основоположним моментом у організації перевізного процесу. Тому на даному етапі фактично важливим є надання якісних послуг з перевезення пасажирів. Залізнична компанія повинна спочатку визначити потреби замовника: структуру маршруту, час відправлення та прибуття поїздів по вирішальних станціях маршруту, потім складається графік руху поїздів. Планування, по суті, є фундаментальним компонентом максимізації загального прибутку.

Складність планування обумовлена необхідністю побудови залізничними компаніями графіків руху поїздів, які повинні відповідати мінливому попиту пасажирів на перевезення, обмеженням функції при моделюванні, дозволить оперативно коригувати маршрути та розклад відправлення поїздів. Існує велика складність виконання точних прогнозів, що обумовлено неможливістю достовірного врахування закономірностей формування попиту пасажирів по сезонах року, місяцях і днях тижня в умовах впливу багатьох чинників, які складно піддаються формалізації. Разом з тим, моделі прогнозів попиту пасажирів по кожному пункту призначення повинні враховувати такі аргументи, як середні тарифи, густина руху поїздів, демографічні показники та економічні умови.

Враховуючи ці загальні оцінки попиту, моделі визначення пасажиропотоків використовуються для оцінки експлуатаційної роботи кожного виду транспорту, операторів транспортного ринку з встановленням граничних значень за експлуатаційними показниками в залежності від тарифів на перевезення.

Для забезпечення стійкості моделей та формування графіка руху поїздів вважається, що попит на послуги повинен бути детермінованим і інваріантним з

метою планування коливань пасажиропотоків та меж конкуренції. Ефективний процес планування графіка залежить від точної оцінки загального попиту на перевезення, визначення частки пасажирів, які оберуть залізничний транспорт та конкретну залізничну компанію.

Залізнична мережа складається з дільниць та станцій, тому в графічному вигляді її можна подати у вигляді графа $G(S, L)$, вершини якого відповідають станціям (S – це множина станцій, S_i – станція, на якій здійснюються операції з пасажирами чи технічні операції при обслуговуванні високошвидкісного руху), а дуги відображають комунікації, що з'єднують пари станцій (L – множина дуг (дільниць)). Нехай довжина кожної дуги дорівнює відстані (вартості). Дільниці між станціями – це орієнтовані ребра графа.

Довжина відповідної дільниці – це вага ребра, тобто $l \in L$. Граф повинен бути повним, тобто в ньому є всі можливі ребра.

Напрямок, який потрібно знайти – це орієнтований, простий цикл, мінімальної ваги у графі [6]. Кожна дуга визначена відповідно до станції відправлення та прибуття, а також її вагового коефіцієнта (наприклад відстань у кілометрах). Пасажирські технічні станції повинні враховуватись при побудові графіка як станції обслуговування та відстою пасажирських составів. Час планування може варіюватись за певними часовими періодами. Для планування доцільно обрати тижневий період, оскільки нерівномірність пасажирських перевезень по днях тижня досить впливова.

Цільова функція доходу від організації швидкісних перевезень має вигляд

$$E_{\text{ув}} = \sum_{r=1}^Q \sum_{k=1}^P C_r A_{r,k} - \sum_{k=1}^P \left(e_{\text{поїздо.год}}^{m_c} \cdot t_k + e_{\text{поїздо.год ПТС}}^{m_c} \cdot t_k^{np \text{ ПТС}} \right) \rightarrow \max E_{\text{ув}}, \quad (1)$$

де C_r – вартість проїзного документа для відповідної категорії поїзда r , грн;

$A_{r,k}$ – кількість пасажирів, що прямують за маршрутом k у відповідній категорії поїзда r , пас.;

Q – кількість категорій поїздів;

P – кількість маршрутів поїздів;

$e_{\text{поїздо.год}}^{m_c}$ – вартість поїздо-години прямування швидкісного поїзда за маршрутом k , грн/поїзд;

t_k – час прямування поїзда за маршрутом k , год;

$e_{\text{поїздо.год ПТС}}^{m_c}$ – вартість поїздо-години простою при підготовці на пасажирських технічних станціях або на станціях обороту, грн/поїзд;

$t_k^{np \text{ ПТС}}$ – час простою поїздів на технічних станціях основного або оборотного депо, год.

Моделювання потрібно проводити при таких обмеженнях:

- за пропускною спроможністю пасажирських стацій з урахуванням мінімізації стоянок поїздів

$$\sum_{r=1}^Q \sum_{k=1}^P \frac{A_{r,k}}{m_c} \leq N_{s,t}, \quad \forall s \in S, t \in T, \quad (2)$$

де m_c – місткість состава поїзда відповідної категорії;

$N_{s,t}$ – наявна пропускна спроможність станції s протягом періоду планування t ;

- за розвитком технічних засобів пасажирських технічних станцій

$$n_{\text{нек}}^{c,s} \geq \sum_{t \in T} \left(n_{\text{від}}^{c,s} - n_{\text{пр}}^{c,s} \right), \quad \forall s \in S, c \in C, \quad (3)$$

де $n_{пек}^{c,s}$ – кількість приймально-відправних колій пасажирської технічної станції;

$n_{від}^{c,s}$, $n_{пр}^{c,s}$ – кількість відповідно поїздів, що відправляються та прибувають протягом планового періоду для всіх категорій;

- за задоволенням попиту пасажирів на перевезення

$$A_{r,k} \leq \alpha_{SH} A_m, \quad (4)$$

де α_{SH} – частка пасажирів, що прямують у швидкісних поїздах;

A_m – загальне пропонування місць.

При моделюванні додатково перевіряється умова: чи відповідає сумарна

потужність поїздів на дільниці протягом часового інтервалу для кожної дуги $l \in L$ маршруту $k \in K$ та місткості поїзда $m_c \in M$, задоволенню попиту пасажирів.

Результати обчислень. Дослідження базуються на вивченні курсування поїздів ІНТЕРСІТІ+ в Україні. Основними напрямками курсування таких поїздів є Харків-Київ, Дніпро-Київ та Київ-Львів. Розміри руху по основних напрямках наведено на рис. 1.

У таблиці наведено середнє добове розрахункове завантаження колій та коефіцієнт використання з урахуванням пропуску пасажирських поїздів всіх типів по станції.

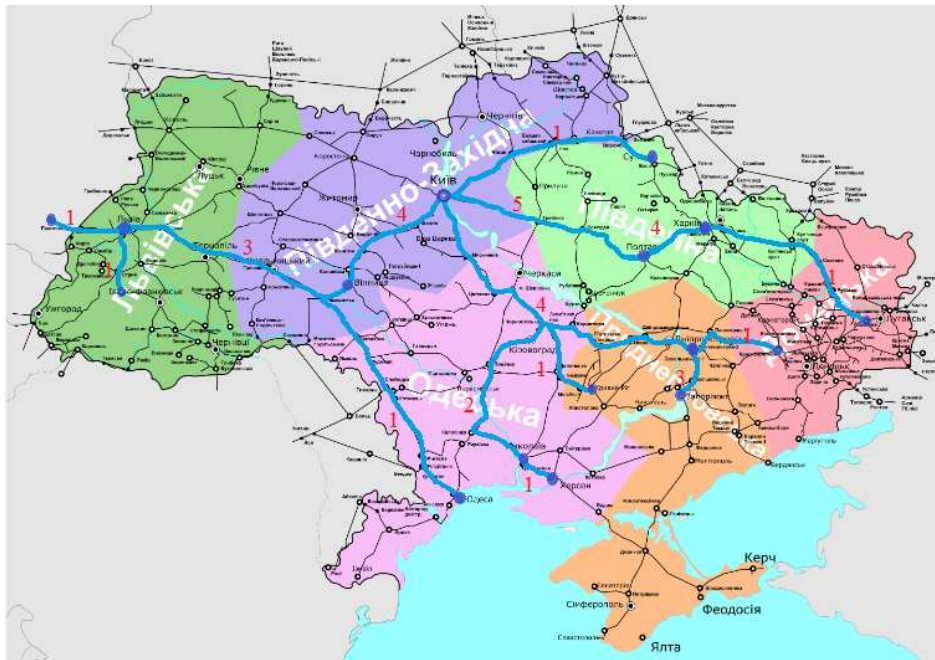


Рис. 1. Розміри руху поїздів ІНТЕРСІТІ+ по основних напрямках

Таблиця

Добове розрахункове завантаження колій по станціях

Станція	Час завантаження колії, хв	Коефіцієнт використання
Харків	3152	0,24
Львів	2864	0,28
Дніпро	2378	0,25
Київ	4340	0,36

Розрахунки свідчать про достатню середньодобову пропускну спроможність по основних станціях. Розрахунки розмірів руху по прибутті та відправленні на станцію Київ-Пасажирський наведено на рис. 2.

Однак для планування важливою є пропусна спроможність пасажирських станцій з урахуванням мінімізації стоянок поїздів. Для цього розраховані загальні розміри з виділенням годин максимального завантаження. Дані наведено на рис. 3.

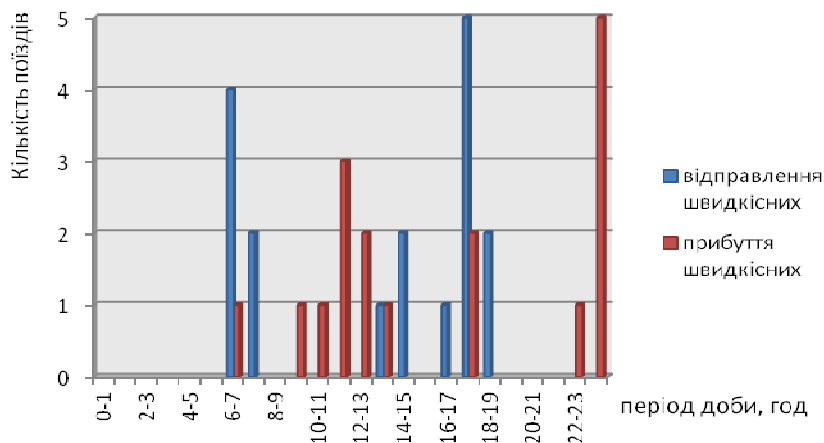


Рис. 2. Розміри прибуття та відправлення швидкісних поїздів на станцію Київ-Пасажирський по годинах доби

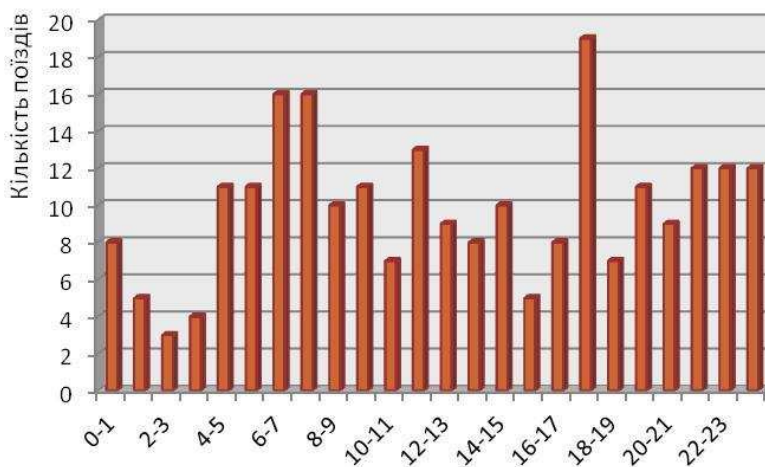


Рис. 3. Загальне прибуття та відправлення поїздів по станції Київ-Пасажирський по годинах доби

Аналіз даних, наведених на рис. 3, свідчить про наявність періодів максимального завантаження з 6.00 до 9.00 та з 17.00 до 19.00. Розміри в максимально завантаженої години складають 19 поїздів при наявності 11 приймально-відправних колій. Зміна часу прибуття та відправлення

поїздів або тривалості стоянок при плануванні розкладів може призвести до неможливості виконання технологічних операцій на пасажирській та пасажирській технічній станції, а, відповідно, і незадоволення попиту пасажирів.

Висновки. Запропонований підхід до питання планування поїздок швидкісного залізничного транспорту з точки зору підвищення конкурентоспроможності та економічної доцільності. З цією метою вивчено планування частоти поїздок,

планування розкладу та питання розподілу рухомого складу. Для цього доцільно моделювати поїздопотоки багатокомпонентної мережі з урахуванням умов та кон'юнктури ринку транспортних послуг.

Список використаних джерел

1. Ghoseiri K., Szidarovszky F., Asgharpour M. J. Multipurpose model and solution for train planning [Text] // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 2004. – Vol. 38. – P. 927-952.
2. Yalçınkaya Ö., Bayhan G.M. A feasible timetable generator simulation modelling framework for train scheduling problem [Text] // *Simulation Modelling Practice and Theory*. – 2012. – Vol. 20. – P. 124-141.
3. Mohammad Ali Sh., Sadjadi S. J., Jamili A., Tavakkoli-Moghaddam R., Pourseyed-Aghaee M. The periodicity and robustness in a single-track train scheduling problem [Text] // *Applied Soft Computing*. – 2012. – Vol. 12. – P. 440-452.
4. Carey M., Crawford Iv. Scheduling trains on a network of busy complex stations // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 2007. – Vol. 41. – P. 159-178.
5. Espinosa-Aranda J. L., García-Ródenas R., Cadarso L., Marín Á. Train Scheduling and Rolling Stock Assignment in High Speed Trains [Text] // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. – 2014. – Vol. 160. – P. 45-54.
6. Floudas C. A., Gounaris C. E. A review of recent advanced in global optimization [Text] // *J. Global Optimizat.* - 2009. - No. 1. – P. 3–38.
7. Lopez Cruz I.L. PhD-Thesis: Efficient Evolutionary Algorithms for Optimal Control [Text]. – Wageningen Univ., Netherlands, 2002. – 122 p.

Малахова Олена Анатоліївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 066-341-84-81. E-mail: alena.mal31@gmail.com.
Сіконенко Григорій Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 050-027-24-07. E-mail: gregsik79@gmail.com.
Скорик Олександр Віталійович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту, група МЗ-17-TEMPUS-ОПУТ. Тел.: 050-716-04-28.
Соломський Роман Юрійович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту, група МЗ-17-TEMPUS-ОПУТ. Тел.: 050-716-04-28.

Малахова Елена Анатольевна, канд. техн. наук, доцент кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: 066-341-84-81. E-mail: alena.mal31@gmail.com.
Сиконенко Григорий Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: 050-027-24-07. E-mail: gregsik79@gmail.com.
Скорик Александр Витальевич, магистрант Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, группа МЗ-17-TEMPUS-ОПУТ. Тел.: 050-716-04-28.
Соломский Роман Юрьевич, магистрант Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, группа МЗ-17-TEMPUS-ОПУТ. Тел.: 050-716-04-28.

Malakhova Olena, PhD (Tech.), associate professor, Department of Management Operational Work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 050-027-24-07. E-mail: alena.mal31@gmail.com.
Sikonenko Grygorii, PhD (Tech.), associate professor, Department of Management Operational Work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 050-027-24-07. E-mail: gregsik79@gmail.com.
Skoryk Oleksandr, master, Department of management operational work, Ukrainian State University of Railway Transport, group MZ-17-TEMPUS-OPUT. Tel.: 050-716-04-28.
Solomskyy Roman, master, Department of management operational work, Ukrainian State University of Railway Transport, group MZ-17-TEMPUS-OPUT. Tel.: 050-716-04-28.

Статтю прийнято 29.10.2018 р.