
УДК 656.2.022.846

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ПАСАЖИРОПОТІК ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ МАГІСТРАЛЕЙ

Канд. техн. наук О. В. Розсоха, магістранти К. О. Рафальський, В. С. Ткачов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПАССАЖИРОПОТОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Канд. техн. наук А. В. Розсоха, магистранты К. О. Рафальский, В. С. Ткачев

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF SOCIAL AND ECONOMIC FACTORS ON THE DESIGN OF PASSENGER TRAFFIC HIGH-SPEED RAIL

Doctor of Science (Ph.D.) O. Rozsokha, Magistrands K. Rafalskyi, V. Tkachov

У статті подано математичну модель пасажиропотоку та визначено рівняння множинної лінійної регресії з урахуванням розглянутих соціально-економічних факторів для напрямків, що досліджуються. Розроблена модель дає змогу визначити вплив соціально-економічних факторів на пасажиропотік при проектуванні високошвидкісних залізничних магістралей. За допомогою даної моделі можна визначити довірчі інтервали та область прогнозу, а також отримати прогнозні значення пасажиропотоку.

Ключові слова: пасажирські перевезення, план формування пасажирських поїздів, оптимізація, пасажиропотік.

В статті представлена математическая модель пасажиропотока и определены уравнения множественной линейной регрессии с учетом рассматриваемых социально-экономических факторов для исследуемых направлений. Разработанная модель позволяет определить влияние социально-экономических факторов на пасажиропоток при проектировании высокоскоростных железнодорожных магистралей. С помощью данной модели можно определить доверительные интервалы и область прогноза, а также получить прогнозные значения пасажиропотока.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, план формирования пассажирских поездов, оптимизация, пассажиропоток.

The goal of this research is to increase the efficiency of operation of passenger transportation by railway transport of Ukraine with the use of high-speed highways. One of the many areas of these activities is to improve existing mathematical models for the determination of the amount of passenger traffic in terms of functioning of these highways.

The real analysis of the socio-economic development of regions of Ukraine with the demand in the use of high-speed highways, and the expected value of passenger traffic on their main directions are the main tasks in the field of research on the introduction of these highways in the country.

The amount of passenger traffic of all modes of transport in a particular direction it is always possible to calculate, knowing the schedule, capacity, occupancy rate, etc. it is Obvious that the introduction of a new competitive mode of transport in modern conditions of development of market relations it is not enough and need more in-depth analysis of the development of regions that have a certain demand for the use of high-speed highways. Special attention should be paid to the forecast of passenger traffic taking into account the influence on it of the most significant socio-economic factors that characterize a particular polygon.

The article stated that the passenger traffic on high-speed highways of a region depends on the size of agglomerations, the gross national product and population hotels. Given these socio-economic factors, this article presents a mathematical model to determine traffic flow. This problem is reduced to the compilation of the multiple regression model by writing the appropriate equation. Also presented is a procedure for solving this model.

This mathematical apparatus allows to determine the value of passenger numbers with high confidence intervals. The correct value of passenger traffic on high-speed motorways will be used to define objectively a fleet of passenger trains to make the schedule of their movement, which will lead to optimum use of resources of the Railways.

Key words: passenger transport, plan for the formation of passenger trains, optimization, passenger traffic.

Вступ. Високошвидкісні залізничні магістралі (ВШМ) у розвинених країнах світу виробили думку суспільства на їх користь у зв'язку зі значною економічною та соціальною ефективністю, їх невеликим негативним впливом на навколишнє середовище, в порівнянні з іншими видами транспорту, та безпекою руху поїздів.

Сучасні тенденції на ринку транспортних послуг з перевезення пасажирів полягають у зменшенні ролі залізничного та підвищенні значення автомобільного і повітряного транспорту. Тому важливо здійснювати заходи на рівні держави в питаннях підвищення привабливості залізничних перевезень

пасажирів шляхом впровадження та удосконалення ВШМ [1-4].

Досвід експлуатації високошвидкісного залізничного транспорту ряду залізниць країн зарубіжжя свідчить про те, що величина економічно ефективного пасажиропотоку, що припадає на ВШМ, не має бути менше 5-6 млн люд. на рік [5, 6].

Аналіз реального прогнозу соціально-економічного розвитку регіонів, що мають попит у користуванні ВШМ, та очікувана величина пасажиропотоку на їх основних напрямках є основними задачами у сфері досліджень з упровадження цих магістралей в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у розвиток теорії ефективної організації пасажирських перевезень зробили Н.І. Бещева, Т.В. Бутько, П.С. Грунтов, Ф.П. Кочнев, В.Я. Негрей, М.В. Правдін, М.Я. Стефанов, М.П. Іхненко, Ю.О. Пазойський та ін. [7, 8].

Існуючі методи визначення величини пасажиропотоку та розмірів руху пасажирських поїздів, що розроблені вищеназваними авторами, були в основному спрямовані на поїзди звичайних магістралей залізниць. Оптимізаційним розрахункам щодо визначення величин поїздо- та пасажиропотоків ВШМ значної уваги не приділялось.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даних досліджень є підвищення ефективності функціонування пасажирських перевезень залізничним транспортом України при застосуванні ВШМ. Одним із багатьох напрямків цих заходів є удосконалення діючих математичних моделей з визначення величини пасажиропотоку в умовах функціонування ВШМ. У зв'язку з цим необхідно розглянути математичну модель визначення пасажиропотоку з урахуванням соціально-економічних факторів регіону для напрямків, що досліджуються.

Основна частина дослідження. Величину пасажиропотоку будь-якого виду транспорту на конкретному напрямку

завжди можна розрахувати, знаючи графік руху, місткість, відсоток заповнюваності та ін. Очевидно, що для впровадження нового конкурентоспроможного виду транспорту в сучасних умовах розвитку ринкових відносин цього не достатньо і необхідний більш глибокий аналіз розвитку регіонів, які мають певний попит на користування ВШМ. Особливу увагу слід приділяти прогнозу пасажиропотоку з урахуванням впливу на нього найбільш значимих соціально-економічних факторів, які характеризують певний полігон [9].

Існують дві групи методів прогнозування: інтуїтивні, які побудовані на судженнях та оцінках експертів, та формалізовані, які засновані на математичних моделях [10]. Слід зазначити, що саме формалізовані методи дають змогу змодельювати процес зміни пасажиропотоку, визначивши математичну залежність між об'єктом, що досліджують, та ознаками, що його характеризують. Відомо, що всі формалізовані методи підрозділяють на моделі предметної області та моделі часових рядів. Моделі предметної області добре відомі в термодинаміці, механіці та медицині. Математичні моделі, що використовуються в цьому методі, засновані на існуючих законах предметної області та відомих диференційних рівняннях.

У свою чергу, моделі часових рядів описують залежність між об'єктами, які досліджують, і на основі отриманої залежності обчислюють прогнозні показники. Оскільки дослідження перспективного пасажиропотоку вимагає вивчення характеру зміни деякої множини факторів, одним з найбільш очевидних методів прогнозування буде регресійний аналіз.

На підставі зібраних статистичних даних існує можливість визначити зв'язок між величиною пасажиропотоку та соціально-економічними факторами на полігоні, де можливе впровадження ВШМ. У цьому випадку задача зводиться до визначення множинної регресійної моделі, яка визначається рівнянням

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + K + \beta_n \cdot X_n + \varepsilon, \quad (1)$$

де Y – залежна змінна (відгук), яка характеризує об'єкт, що досліджують (пасажиропотік);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, K, \beta_n$ – параметри лінійної регресії;

X_0, X_1, X_2, K, X_n – незалежні змінні (фактори, що пояснюють змінення Y);

ε – вектор випадкових помилок спостережень.

Для знаходження оцінок параметрів за результатами спостережень використовується метод найменших квадратів.

Оскільки аналіз множинної регресії на основі системи рівнянь – трудомісткий

процес, то для розрахунків використовується апарат матричної алгебри.

Розглянемо методику визначення впливу соціально-економічних факторів на величину пасажиропотоку. Спочатку обираються напрямки руху залізничних ВШМ.

При складанні множинної регресійної моделі для кожного напрямку як фактори впливу приймаються такі показники: дані про чисельність агломерацій (X_1), населеність готелів (X_2) та величина валового регіонального продукту, який характеризує економічний розвиток і ділову активність регіонів (X_3). Графічну ілюстрацію наведено на рисунку.



Рис. Фактори, що впливають на пасажиропотік при проектуванні високошвидкісних магістралей

З метою встановлення залежності між показниками, що наведено вище, та величиною пасажиропотоку визначається їх кореляційна залежність. Для цього можна використовувати середовище MS Excel.

Для визначення ступеня кореляції між парою показників пропонується використувати коефіцієнт кореляції [10, 11]:

$$r_{xy} = \frac{\sum (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (2)$$

де X_i, Y_i – значення показників, що розглядаються, при певних умовах;

\bar{X}, \bar{Y} – середні значення показників.

Якщо коефіцієнт кореляції буде мати значення більше 0.6, то це буде вказувати на значну кореляційну залежність між показниками, що розглядаються, та величиною пасажиропотоку.

Згідно з рівнянням (1) та набором статистичних даних за напрямками можна спрогнозувати величину пасажиропотоку Y методом оцінки множинної регресії [11, 12].

Загальний алгоритм регресійного аналізу для окремого напрямку буде мати вигляд:

1) складається матриця факторів, що досліджуються, – матриця X та матриця даних пасажиропотоку – матриця Y ;

2) перевіряється визначник матриці $|X^T \cdot X|$. Для того щоб рівняння регресії мало розв’язок, визначник матриці не повинен бути рівним нулю, тобто матриця має бути не виродженою;

3) визначаються матричним способом невідомі коефіцієнти рівняння за формулою

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y, \quad (3)$$

де B – вектор-стовпчик коефіцієнтів рівняння регресії;

X^T – транспонована матриця X ;

X – матриця розмірності n рядків та $(k+1)$ – стовпчиків відомих факторів впливу X_1, X_2 та X_3 ;

Y – вектор-стовпчик спостережень розмірності n ;

n – число спостережень дослідження;

k – кількість факторів впливу (в нашому випадку дорівнює 3);

4) записується отримане рівняння регресії;

5) перевіряється значимість рівняння регресії за критерієм дисперсійного аналізу (F – критерій), а також значимість окремих коефіцієнтів регресії (за критерієм Стьюдента).

Згідно з [9] у класичній лінійній регресійній моделі передбачається, що випадкові складові не корелюють одна за одною. Але існує метод оцінки коефіцієнтів рівняння регресії зваженим методом найменших квадратів.

Розглянемо окремий випадок.

Нехай матриця Ω є діагональною з елементами відомих дисперсій σ_i^2 .

$$\Omega = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_n^2 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Приймаємо, що випадкові похибки не корелюють між собою та мають різні, але відомі дисперсії. Якщо припустити, що відносна похибка вимірювання Y_i постійна і дорівнює σ_0 , то середньоквадратичне відхилення σ_i буде пропорційно математичному очікуванню $\tilde{y}_i = My_i/x$ цієї

величини, тобто $\sigma_i = \sigma_0 \cdot \tilde{y}_i$.

Далі надається процедура розв’язання даної задачі:

1) класичним методом найменших квадратів знаходиться значення оцінок

рівняння регресії \hat{Y}_i та визначається відносна похибка апроксимації за формулою:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{\hat{Y}_i} = \sigma_0; \quad (5)$$

2) передбачаючи, що оцінка середньоквадратичного відхилення Y_i дорівнює $s_i = \sigma_0 \cdot \hat{Y}_i$, матриця (4) буде мати вигляд:

$$\Omega^{\frac{1}{2}} = \sigma_0 \cdot \begin{pmatrix} \hat{Y}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{Y}_2 & 0 \\ 0 & 0 & \hat{Y}_n \end{pmatrix}. \quad (6)$$

З урахуванням матриць (4, 6) формула (3) буде мати вигляд:

$$B = (X^T \cdot \Omega^{-1} \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot \Omega^{-1} \cdot Y. \quad (7)$$

Отримана математична модель перевіряється на адекватність і значимість коефіцієнтів рівняння регресії. При цьому визначаємо оцінку коваріаційної матриці S вектор-стовпчика за формулою:

$$S = s^2 (X^T \cdot \Omega^{-1} \cdot X)^{-1}. \quad (8)$$

Важливо зазначити, що на розподіл величини пасажиропотоку впливає багато факторів: соціальні, економічні та

політичні. Характер впливу цих факторів важко передбачуваний. Очевидно, що статистичні показники пасажиропотоку являють собою складний процес випадкового характеру. Тому необхідно правильно визначити довірчі інтервали прогнозу пасажиропотоку.

Область високої кореляції в автокореляційній функції дає змогу аналізувати інформацію про те, як значення процесу в деякий момент часу впливає на значення процесу у певний момент у майбутньому. Це, у свою чергу, необхідно для визначення границь прогнозу регресії. Для аналізу статистичних показників у нашому випадку межа прогнозу складає п'ять років.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. На величину пасажиропотоку по напрямках ВШМ впливають соціально-економічні фактори. До таких факторів належать: чисельність населення, населеність готелів та валовий регіональний продукт. Існує відповідний математичний апарат для розв'язання задачі визначення рівня пасажиропотоку. Для цього наведено рівняння множинної лінійної регресії з урахуванням вищезазначених факторів. Даний математичний апарат дає змогу визначити величину пасажиропотоку з високими довірчими інтервалами. Правильне значення пасажиропотоку на ВШМ дасть можливість об'єктивно визначити парк пасажирських составів, скласти графік їх руху, що приведе до оптимального використання ресурсів залізниць.

Список використаних джерел

1. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздпотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В. М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5–13.
2. Розсоха, О. В. Аналіз функціонування систем управління безпекою руху поїздів на залізницях країн Євросоюзу [Текст] / О. В. Розсоха, Ю. В. Смачило // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 151. – С. 4–11.

3. Розсоха, А. В. Функционирование систем управления безопасностью движения на железных дорогах Украины и России [Текст] / А. Н. Огарь, Ю. О. Пазойский, А. В. Розсоха, и др. // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 18–28.
4. Jose A. Gomes-Ibanez, Gines de Rus. Competition in the Railway Industry. An International Comparative Analysis [Text] / Jose A. Gomes-Ibanez, Gines de Rus. – Massachusetts. : Edward Elgar Publishing Limited, 2006. – 201 p.
5. Adib Kanafani, Rui Wang, Ashleigh Griffin. The Economics of Speed – Assessing the performance of High Speed Rail in Intermodal Transportation / Adib Kanafani, Rui Wang, Ashleigh Griffin // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies (ICTTS 2012). – Elsevier Ltd, 2012. – Volume 43. – P. 692-708. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812010245>.
6. Zhi-Chun Li, William H.K. Lam, S.C. Wong, A. Sumalee. Design of a rail transit line for profit maximization in a linear transportation corridor / Zhi-Chun Li, William H.K. Lam, S.C. Wong, A. Sumalee // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Select Papers from the 19th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. – Elsevier Ltd, 2012. – Volume 48. – P. 50-70. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554511000627>.
7. Пазойский, Ю. О. Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах) [Текст] / Ю. О. Пазойский, Л.С. Рябуха, В. Г. Шубко; под ред. В. Г. Шубко. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
8. Грунтов, П. С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок [Текст]: учебн. для вузов / под. ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 544 с.
9. Алпысова, В. А. Моделирование и прогнозирование пассажиропотока высокоскоростной магистрали на примере поездов «Сапсан» направления Санкт-Петербург-Москва [Текст] / В. А. Алпысова, Н. С. Бушуев, Д. О. Миненко // Транспорт Урала. – 2014. – Вып. 2(41). – С. 50–53.
10. Вуколов, Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов Statistica и Excel [Текст] : учеб. пособие / Э. А. Вуколов. – 2-е изд. – М.: Высш. школа, 2014. – 464 с.
11. Дубров, А. М. Многомерные статистические методы [Текст] / А. М. Дуров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 352 с.
12. Ефимова, М. Р. Практикум по общей теории статистики [Текст]: учеб. пособие / М. Р. Ефимова, О. И. Ганченко, Е. В. Петрова. – 3-е изд. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 368 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор О. В. Лаврухін

Розсоха Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@ukr.net.
Рафальський Костянтин Олегович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: Rafalskyi92@mail.ua.
Ткачов Владислав Сергійович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. djzas@mail.ru.

Rozsokha Olexandr, Associate Professor, Doctor of Science (Ph.D.), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@ukr.net.
Rafalskyi Kostiantyn, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. Rafalskyi92@mail.ua.
Tkachov Vladyslav, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. djzas@mail.ru.

Стаття прийнята 22.06.2016 р.