

УДК 656.072

Асист. Л.О. Пархоменко

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ ПАСАЖИРІВ В УМОВАХ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ШВИДКІСНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО СПОЛУЧЕННЯ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ РЕЛЯЦІЙНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Представила д-р техн. наук, професор Т.В. Бутько

Вступ і актуальність завдання. В умовах впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів виникають значні структурні та параметричні зміни потоків пасажирів, що призводить до ускладнень у прогнозуванні обсягів перевезень. За таких умов задача достовірного визначення кореспонденцій між транспортними районами є найбільш значимою при проведенні розрахунків щодо економічної доцільності реалізації інноваційних проектів підвищення швидкості руху на залізничному транспорті [1].

Аналіз існуючих методів щодо визначення кореспонденцій показав, що розрахунки ґрунтуються на інформації про фактичні кореспонденції між районами зародження-погашення потоків. Крім того, не в повній мірі враховується неповнота та невизначеність даних про такі кореспонденції, що впливає на точність та адекватність моделі. В аналітичних записах моделей майже завжди використовуються параметри, що задані для конкретного дослідження на основі суб'єктивних суджень. Це у свою чергу ускладнює

застосування таких моделей для залізничного транспорту.

Виходячи з цього, дана робота спрямована на вирішення науково-прикладного завдання із вдосконалення підходів щодо розрахунку кореспонденцій потоків для проведення досліджень у сфері формування та розвитку транспортних систем швидкісних залізничних пасажирських перевезень. Розв'язання поставленого завдання вимагає формування нової математичної моделі прогнозування кореспонденцій, що повинна мати властивість гнучкості (тобто повинна досить легко настроюватись) та бути стійкою, прийнятно складною, з обчислювальної точки зору, та забезпечувати при цьому необхідну точність.

Вирішення задачі. В основі формування математичної моделі запропоновано використати підхід на основі використання моделей просторової взаємодії. Найбільш поширеними моделями такого класу є гравітаційні моделі. Такі моделі аналогічні закону гравітаційного тяжіння. Відповідно до застосування у транспортних системах у них як тіла виступають пункти зародження-погашення потоків, за масу тіл приймаються обсяги відправлень з одного транспортного району і прибуття в інший, фізичну відстань можна замінити на транспортну відстань, яку доцільно інтерпретувати як узагальнену функцію транспортних витрат [2, 3]. У найпростішій формі гравітаційна модель має вигляд

$$\rho_{ij} = \kappa \frac{s_i d_j}{c_{ij}^2} \Rightarrow \rho_{ij} = \kappa s_i d_j f(c_{ij}),$$

де ρ_{ij} – прогноз кореспонденції із пункту i в пункт j , пас, $i \in R, j \in R$, де R – множина пунктів прибуття; s_i – загальний обсяг відправлення із пункту i , пас; d_j –

загальний обсяг прибуття в пункт j , пас;

c_{ij} – показник опору між двома пунктами.

Фізичний зміст відстані можна замінити на іншу невід'ємну монотонно спадаючу

функцію від опору $f(c_{ij}) = \frac{1}{c_{ij}^2}$ – функція

тяжіння (вигідності поїздки), що характеризує перевагу індивідуумів при виборі пари пунктів – витік-стік (i, j) , для пересування; $\kappa > 0$ – калібрувальний коефіцієнт (фізичний зміст – гравітаційна складова).

Враховуючи неможливість визначення обсягів відправлення та прибуття потоків пасажирів в умовах впровадження швидкісних пасажирських поїздів між залізничними станціями та спираючись на дослідження [2, 4], в яких доведено залежність кореспонденцій між населеними пунктами від кількості мешканців даних населених пунктів, параметри гравітаційної моделі s_i, d_j можна замінити на загальну кількість населення даних міст M_i, M_j .

Для оцінки транспортної відстані між містами впливовими факторами є витрати часу на поїздку та вартість подорожі. Фактор витрат часу на поїздку можна врахувати через індекс тривалості подорожі [3, 4]

$$I_{ij}^{nod} = \frac{t_{ij}^q}{t_{ij}^{norm}}, \quad (1)$$

де t_{ij}^q – тривалість подорожі на q -й категорії поїзда (швидкий, швидкісний, високошвидкісний), год; t_{ij}^{norm} – найменший реалізований час перебування в дорозі між пунктами i, j , год.

Тоді фактор вартості можна визначити через індекс транспортної доступності [5]

$$I_{ij}^{m\partial} = \frac{J_{ij}^{My}}{J_{ij}^{My(\text{факт})}}, \quad (2)$$

де J_{ij}^{My} – соціальний норматив максимально допустимої частки витрат на транспортні послуги, приймається в розмірі 20% від середнього доходу населення в регіоні; $J_{ij}^{My(\text{факт})}$ – фактична частка витрат на транспортні послуги у відсотках від вартості мінімального споживчого бюджету, $J_{ij}^{My(\text{факт})} = \frac{Z_{My}}{Z_{сб}} \times 100\%$, де Z_{My} – середньомісячна сума витрат на транспортні послуги, виходячи із затвердженого нормативної кількості поїздок, грн; $Z_{сб}$ – вартість мінімального споживчого бюджету одного пасажирів на місяць, грн.

Для обліку агломераційних ефектів у структурі кореспонденцій (під агломерацією будемо розуміти транспортну підсистему, яка містить район тяжіння населення до міста) в роботі запропоновано

врахувати індекс відвідуваності міста прибуття [6]

$$I_{ij}^{sio} = \sum_{k \in R, k \neq i, j} \frac{M_k}{t_{kj}}, \quad (3)$$

де M_k – населеність k -го міста, що з'єднане з містом M_j , для якого виконується прогноз кореспонденції прибуття, пас, $k \in R$; t_{kj} – середня тривалість подорожі на різних видах транспорту від k -го альтернативного міста до міста j , год. Індекс відвідуваності тим більше, чим більше і ближче до району відвідування розташовані альтернативні райони відправлення.

Даний фактор дозволяє моделювати ефект, при якому обсяги прибуття потоків пасажирів до міста, яке розташоване в агломерації деякої кількості інших міст меншого значення і породжує більшу кореспонденцію, ніж це диктується факторами транспортного зв'язку [6, 7], (рис. 1).

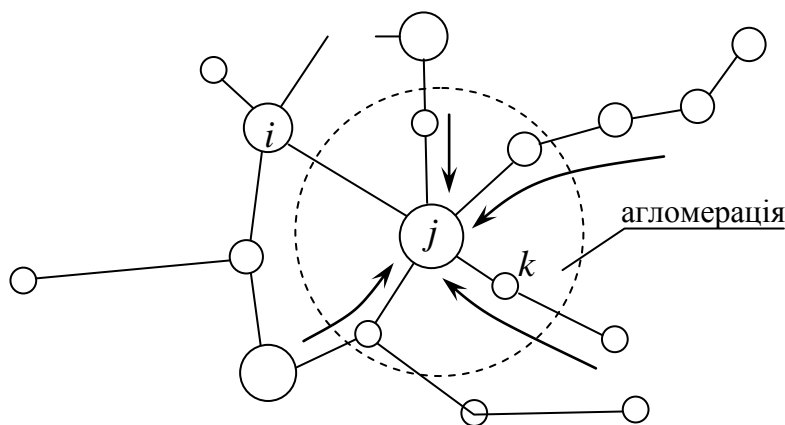


Рис. 1. Схематичне зображення агломераційного ефекту при прогнозуванні пасажиропотоку ρ_{ij}

Відповідно до визначених факторів у неявному вигляді математична модель прогнозування кореспонденцій пасажиро-

потоків в умовах впровадження швидкісних поїздів має вигляд

$$\rho_{ij} = f(M_i, M_j, I_{ij}^{nod}, I_{ij}^{md}, I_{ij}^{eid}). \quad (4)$$

Враховуючи неможливість отримання точних значень вищенаведених параметрів моделі прогнозування та слабку структурованість процесу, в роботі запропоновано використати методи нечіткої алгебри, зокрема нечіткі реляційні обчислення, що засновані на описі систем у термінах простору станів для визначення залежності (4). Такий опис ґрунтується на матричній формі уявлення залежностей, що досить зручно для практичної реалізації. Згідно з вищесказаним модель прогнозування кореспонденцій в умовах впровадження швидкісних пасажирських поїздів можна записати за допомогою системи нечітких реляційних рівнянь (англ., Fuzzy Relational Equation, FRE) [8]

$$Q \circ R = S, \quad (5)$$

де $Q_{m \times k}$ – матриця нечітких входів; $R_{n \times m}$ – матриця нечітких відношень; $S_{n \times k}$ – матриця нечітких виходів на дискретних чітких множинах X, Y, Z кінцевих потужностей m, n, k відповідно; правило композиції \circ , засноване на максимінному критерії.

Вхідними даними моделі є вектор-стовбець $Q = (r_1, r_2, r_j, \dots, r_{m=5})$, що описує параметри моделі прогнозування відповідно до залежності (4). Для формалізації можливих значень визначених параметрів запропоновано використати поняття лінгвістичної змінної (ЛЗ), що визначається кортежем $\langle \Lambda, T, U \rangle$, де Λ – ім'я змінної; T – терм-множина, кожен елемент якої (терм) представляється як нечітка множина на універсальній

множині U . Відповідно до чого перші два параметри моделі можна уявити як нечіткі змінні $\Lambda_1 = \{\text{населеність міста } M_i\}$ та $\Lambda_2 = \{\text{населеність міста } M_j\}$. Значення лінгвістичних змінних щодо величини населеності міста визначаються на єдиній шкалі із наступною терм-множиною $T_{1,2} \forall \{\text{“мала”} - t_1, \text{“середня”} - t_2, \text{“велика”} - t_3\}$, де кожен терм описується нечіткою множиною $\tilde{M}_{p(t_i)}$, $p = \overline{1, m}$, що складається з сукупності пар виду $\tilde{M}_{p(t_i)} = \{\langle \mu_{\tilde{M}_{p(t_i)}}(u) / u \rangle\}$, $u \in U$, $\tilde{M}_{p(t_i)} \subset U$, де $\mu_{\tilde{M}_{p(t_i)}} : U \rightarrow [0, 1]$ – функція приналежності, аналітичний запис якої відбиває трапецієподібну форму для крайніх термів та трикутну форму – для терма t_2 [9].

Наступні параметри можна записати лінгвістичними змінними $\Lambda_3 = \{\text{індекс тривалості подорожі}\}$, $\Lambda_4 = \{\text{індекс транспортної доступності}\}$ та $\Lambda_5 = \{\text{індекс відвідуваності міста прибуття}\}$ із наступними терм – множинами $T_{3,4} \forall \{\text{“низький”} - t_1, \text{“середній”} - t_2, \text{“високий”} - t_3\}$ та відповідними трикутними функціями приналежності.

Згідно до запропонованого підходу реальні значення вхідних параметрів моделі $Q^* = (q_1^*, q_2^*, q_j^*, \dots, q_m^*)$, що відповідають вектору-стовбцю Q , записуються у вигляді ступеня приналежності $\mu_{\tilde{M}_{p(t_i)}}(q_j^*)$ до кожної нечіткої множини $\tilde{M}_{p(t_i)}$ таким чином:

$$q_j \leftarrow \{\mu_{\tilde{M}_p}(q_j^*) = \max(\mu_{\tilde{M}_{p(t_1)}}(q_j^*), \mu_{\tilde{M}_{p(t_2)}}(q_j^*), \dots, \mu_{\tilde{M}_{p(t_i)}}(q_j^*))\}. \quad (6)$$

Вихідні дані моделі запропоновано формалізувати також у вигляді ЛЗ $\Omega = \{\text{обсяги кореспонденції пасажирів із міста } i \text{ до міста } j\}$ з терм-множиною $T_\Omega \forall \{\text{“низькі”}-t_1, \text{“нижчі за середні”}-t_2, \text{“середні”}-t_3, \text{“вищі за середні”}-t_4, \text{“високі”}-t_5\}$ з трапецієподібними функціями приналежності для крайніх термів та трикутними для інших. В даному

випадку кожен терм описується нечіткою множиною $\tilde{D}_{q(t_i)}$, $q = \overline{1, n}$, а вихідні параметри моделі $S = (s_1, s_2, s_j, \dots, s_{n=5})$ представлені ступенями приналежності $\mu_{\tilde{D}_{q(t_i)}}(r_j^*)$, за допомогою яких можна визначити нечітку множину, що відповідає вхідному вектору Q

$$s_j \rightarrow \{\tilde{S}_{q(t_i)} = \min(\mu_{\tilde{D}_{q(t_i)}}(r_j^*), \mu_{\tilde{D}_{q(t_i)}}(s_j))\}. \quad (7)$$

По суті в нечіткому реляційному рівнянні (5) при відомих $Q_{m \times 1}, S_{n \times 1}$ та “o” постає задача визначення нечіткого відношення $R_{n \times m}$. Дане рівняння називається лівим рівнянням загального виду [8], вирішення якого зводиться до вирішення системи нечітких реляційних рівнянь (англ., fuzzy linear system equations), для чого необхідним є пошук основи і всіх відгалужень. Основа в структурі множини рішень такого рівняння являє собою максимальне рішення, тоді як відгалуженням є множина мінімальних рішень. Для того щоб система була вирішуваною, необхідно і достатньо, щоб вирішенням цієї системи було $G = \bigcap G_j$, де G_j – максимальне рішення j -го рівняння. Для того, щоб система мала мінімальні рішення, необхідно і достатньо, щоб мінімальні елементи (а також незрівнянні з жодним з решти) множини $\{\bigcup_j M_{\beta_j}^j \mid M_{\beta_j}^j \in M^j \wedge M_{\beta_j}^j \leq G\}$, де M – множина мінімальних рішень системи рівнянь, взяті з об'єднання min-рішень усіх рівнянь, що входять у систему, були рішенням системи [8]. У роботі запропоновано використати емпіричні дані щодо зіставлення зазначеним параметрам

моделі (4) реальних значень кореспонденцій між містами. За таких умов вирішення даної системи рівнянь не є складним і може бути здійснено за допомогою відомих методів [8].

Знайдене нечітке відношення $R_{n \times m}$ дозволяє вирішити пряму задачу вирішення рівняння (5), тобто знаходити прогнозні кореспонденції між містами. Схему реалізації моделі прогнозування кореспонденцій в умовах впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на основі нечітких реляційних обчислень наведено на рис. 2.

Висновки. Таким чином, при впровадженні швидкісного руху на розгалуженій залізничній мережі, яка поєднує міста з різною населеністю і різною рухливістю населення, доцільно попередньо мати інформацію щодо обсягів кореспонденцій між містами. Запропонована модель на основі реляційних обчислень дозволяє отримати інтервальні оцінки обсягів пасажиропотоків, що в подальшому буде основою для визначення доцільності введення швидкісного руху та кількісної оцінки розмірів руху.

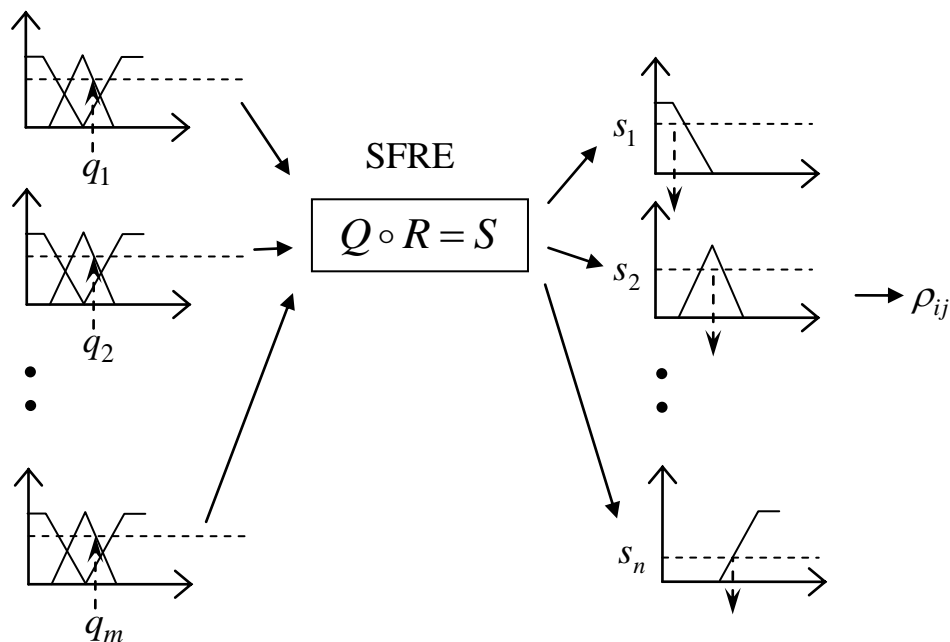


Рис. 2. Схема моделі прогнозування кореспонденцій на основі системи нечітких реляційних рівнянь

Список літератури

1. Vickerman, R. High-speed rail in Europe: experience and issues for future development [Text]/ R. Vickerman // The Annals of Regional Science, 1997. – 31.– P. 21-38.
2. Погребняк, Е.Б. Анализ методов формирования матрицы корреспонденций транспортной сети города [Текст] / Е.Б. Погребняк, Н.И. Самойленко// Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. Харьковская национальная академия городского хозяйства. – Харьков. 2006. – №69 . – С. 121-126.
3. Введение в математическое моделирование транспортных потоков [Текст]: учеб. пособие / А.В. Гасников [и др.]; под ред. А.В. Гасникова. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.
4. Ort'uzar, Juan de Dios Modelling transport [Text]/ Juan de Dios Ort'uzar, Luis G. Willumsen// Fourth edition. A John Wiley and Sons, Ltd., Publication.– 2011. – 586 p.
5. Методика расчета критерия доступности транспортных услуг для населения Республики Татарстан, учитывающего его платежеспособный спрос (утв. постановлением Кабинета Министров Республики Татарстан от 24 сентября 2007 г. № 498) Транспортный сайт города Казани, рубрика Официальная информация, 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kazantransport.ru/index.php?page=content&DocID=948>.
6. Fotheringham, A.S. A new set of spacial-interaction models: the theory of competing destinations // Envir. & Plan. A. – 1983. – V. 15 . – P 15-36.
7. Швецов, В.И. Математическое моделирование транспортных потоков [Текст] / В.И. Швецов // Автоматика и Телемеханика. – 2003. – № 11. – С. 3-46.
8. Peeva K., Kyosev Y. Fuzzy Relational Calculus Theory: Applications and Software [Text]/Ketty Peeva, Yordan Kyosev// World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. – 2005. – 291 p.

9. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст]/Д. Рутковская, М. Пилинский, пер. с польск. И.Д.Рудинского – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.

Ключові слова: швидкісні залізничні перевезення, модель прогнозування, нечіткі реляційні обчислення.

Анотації

В роботі для вирішення науково-прикладного завдання із вдосконалення підходів щодо розрахунку кореспонденцій потоків в умовах впровадження залізничного швидкісного пасажирського сполучення запропоновано математичну модель прогнозування кореспонденцій на основі реляційних обчислень. Запропонована модель дозволяє отримати інтервальні оцінки обсягів пасажиропотоків, що в подальшому дозволить проводити більш точні розрахунки щодо економічної доцільності реалізації інноваційних проектів підвищення швидкості руху на залізничному транспорті.

В работе для решения научно-прикладной задачи по совершенствованию подходов к расчету корреспонденций потоков в условиях внедрения железнодорожного скоростного пассажирского сообщения предложена математическая модель прогнозирования корреспонденции на основе реляционных вычислений. Предложенная модель позволяет получить интервальные оценки объемов пассажиропотоков, что в дальнейшем позволит проводить более точные расчеты по экономической целесообразности реализации инновационных проектов повышения скорости движения на железнодорожном транспорте.

In this paper for solving scientific and applied tasks to improve approaches to calculating the correspondence stream in implementing high-speed rail passenger traffic proposed mathematical model prediction of correspondence-based relational calculations. The model allows to obtain interval estimates the volume of passenger traffic, which in future will allow for more accurate calculations of the economic feasibility of innovative projects to speed trains.