

ГРАВІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

*Базиліук А.В., доктор економічних наук,
Хоменко І.О., кандидат економічних наук*

Актуальність проблеми.

Ключовою важливою задачею функціонування ринку пасажирських перевезень є повне та своєчасне задоволення потреб споживачів у переміщенні. Але розв'язок цієї задачі є дуже складним внаслідок складності розрахунку та управління транспортними пасажирськими потоками. На сьогодні не існує дієвого механізму взаємодії між різними видами транспорту, відсутні обґрунтовані прогнозні моделі попиту на перевезення, не достатньо розроблена ефективна організація функціонування пасажирського транспортного комплексу взагалі, не узгоджуються інтереси споживачів і перевізників. А тому моделювання транспортних пасажирських потоків набуває особливої актуальності.

Аналіз основних досліджень і публікацій.

Над проблемами економіко-математичного дослідження та моделювання на транспорті працювали вітчизняні вчені: О.О. Бакаєв, М.А. Славов, Є.М. Воевудський, І.О. Лапкіна, Г.С. Махуренко, В.Л. Ревенко, В.Г. Коба, М.І. Котлубай та інші.

Основні підходи в області визначення попиту на перевезення проаналізовані у працях А.П. Артинова, Н.О. Брайловського, С.А. Ваксмана, Є.П. Володіна, І.М. Головних, М.Л. Диканюка, Л.Б. Міротіна, А.Ю. Михайлова, И.В. Спіріна, М.Л. Диданюк, Ш.С. Імельбаєва, В.Ш. Крупника, Н.В. Лівшица, А.Н. Мальгин, В.Я. Негрей, В.С. Огай, М.В. Правдіна та ін.

Розробки теоретико-методологічного та аналітичного характеру організаційно-економічного розвитку автотранспортних підприємств викладені у працях І.М. Аксьонова, Н.А. Боровик, Б.Л. Геронімуса, С.Л. Голованенка, Л.Г. Зайончика, О.С. Ігнатенка, В.Е. Канарчука, В.І. Котелянца, О.М. Криворучко, П.Р. Левковця, Л.А. Олександрова, В.Г. Шинкаренка, Ю.М. Цветова. Але проведені до цього часу дослідження не розкривають деяких аспектів ефективного механізму функціонування автотранспортних підприємств для впровадження у практичну діяльність даних підприємств з метою покращення якості транспортних послуг.

Метою є обґрунтування доцільності використання гравітаційної моделі при розрахунку пасажиропотоку регіону для підвищення ефективності функціонування пасажирського комплексу.

Виклад основного матеріалу.

Модель прогнозування транспортних пасажирських потоків повинна враховувати структуру переміщень в різний час доби, залежність від дня тижня і пори року та забезпечувати якість перевезень, а саме графічність руху, середньодобовий інтервал руху, пересадки на маршруті, норму завантаження на 1 м² площі та ін. Питання тарифікації перевезень, від якого залежить вибір перевізника, є окремим напрямком досліджень, а тому у даній статті не розглядається.

У зв'язку із все зростаючим підвищенням рівня конкуренції між перевізниками на транспортному ринку, збільшенням обсягу пересувань, досить актуальною є розробка оптимальної маршрутної мережі міста і розрахунок необхідної кількості рухомого складу за параметрами. А тому задача моделювання транспортних пасажирських потоків є досить необхідною.

Ця модель повинна відповідати наступним вимогам:

- 1) враховувати пропускні можливості транспортної мережі території;
- 2) структура пасажиропотоку на ділянках змінюється протягом доби, а також в залежності від дня тижня і пори року;
- 3) вибір виду транспорту залежить від тривалості, кількості пересадок, вартості і якості поїздки;
- 4) існує взаємозалежність транспортних потоків (якщо на одному виду транспорту кількість пасажирів збільшується, то на іншому зменшується).

Перед розробкою гравітаційної моделі пасажиропотоку необхідно визначити прогнозні їх обсяги з використанням вимірюваного пасажиропотоку на заданих проміжках часу, що базується на даних про попит на переміщення. Прогнозна модель є складовою планових рішень, які поділяють на оперативні (на короткі проміжки часу) і довгострокові. Для її визначення необхідні значення рухливості населення, що є досить трудомістким і складним процесом. При цьому ці значення залежать від періоду часу і перегону переміщення, а також можуть коливатись на протязі тижня,

що потребує автоматизованого оперативного оновлення та обліку пасажирів.

Вибірковим обстеженням пасажирських потоків для визначення транспортного попиту займалися В.Н. Мягков, В.П. Федоров, А.Ю. Михайлов, М. G. H. Bell, D. E. Boyce, E. Cascetta, G. Davis, S. Erlander, C. Fisk, M. Florian, R. Hamerslag, C. Hendrickson, D. O. Jornsten, Y. Iida, J. T. Lundgren, M. J. Maher, S. McNeil, S. Nguyen, N. L. Nihan, T. Sasaki, H. Spiess, J. Van der Zijpp, H. J. Van Zuylen, L. G. Willumsen, H. Yang.

Наукові дослідження М.Г. Белл передбачають прогноз попиту транспортної мережі, де потоки в цілому відомі, без виділення окремих складових по окремих взаємодіючим територіям. Це досить простий підхід на основі автоматичного визначення величини транспортних потоків. Останні дослідження на основі оновлених значень попиту представлені в звіті Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (IIASA). Його автор Т. Abrahamsson вважає, що в найбільш загальному вигляді оновлення попиту існуючих вихідних даних взаємодій територій розраховується таким чином:

$$\min(g, v) = Y_1 F_1(g, \hat{g}) + Y_2 F_2(v, \hat{v}) \quad g, v \geq 0 \quad (1)$$

за умови $v = assign(g)$,

де \hat{g} – оновлення значень попиту на переміщення; \hat{v} – вектор значень вибірових транспортних потоків; F_1, F_2 – відстань; $assign(g)$ – розподіл потоків по мережі, які розподіляють попит на перевезення за маршрутами перевезень.

При цьому доцільно застосувати метод найменших модулів:

$$\sum_{i=1}^n |e_i| = \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| = \sum_{i=1}^n |y_i - \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j| \rightarrow \min \quad (2)$$

де $e_i = y_i - \hat{y}_i$ – різниця між фактичними y_i і розрахованими значеннями потоків \hat{y}_i на складових мережі; n – кількість дуг, на яких є дані про інтенсивність руху, $i = 1, 2, \dots, n$; m – кількість матриць попиту на перевезення; a_{ij} – елементи матриці інцидентів ($a_{ij} = 1$ якщо матриця попиту j належить дузі i , якщо ні – 0); x_j – матриці попиту, що розраховуються; $j = 1, 2, \dots, m$.

Ціль оцінювання (2) полягає у знаходженні вектора попиту на перевезення x , якому

відповідає пасажиропотік на ланцюгах мережі \hat{y} максимально наближений до значення

пасажиропотока y_i . Стійкість вказаної функції (2) до помилок вимірювань потоків, в порівнянні з

функцією $\sum_{i=1}^n |y_i - \sum_{j=1}^m x_j a_{ij}|^2 = e_i^2$, наочно видно і тому вона відноситься до одних із

видів регресії.

Вихідні дані про розподіл потоків істотно підвищує точність оцінювання попиту на перевезення. До них відносяться:

- аналіз частки вибірки із генеральної сукупності;
- раніше розрахована вибірка пасажиропотоку за даними всіх графів, які потім корегуються на основі фактичних даних пасажиропотоків.

При розробці методологічних основ оновлення матриці попиту пасажиропотоку необхідно врахувати наступні обмеження:

- транспортна мережа території є графом на спеціально вибраних вузлах якого вимірюються значення пасажиропотоку;
- необхідні автоматизовані значення транспортних пасажирських потоків;
- використовуються дані розподілу пасажиропотоків за маршрутами.

Для розв'язку поставлених задач доцільно використовувати методи лінійного програмування. У такому випадку оновлення значень матриці попиту на перевезення, оцінювані змінні мають тільки позитивні значення, а знакомінними є тільки залишки регресії. Тому для застосування методу потрібне введення додаткових змінних, що дозволяють включити залишки регресії до складу цільової функції лінійного програмування.

Подальшими етапами дослідження для введення підставних змінних r_i і s_i :

1) формується новий стовпець оцінюваних змінних $x2 = (x_1, x_2, \dots, x_m, r_1, r_2, \dots, r_n, s_1, s_2, \dots, s_n)$ розмірності $(m + 2n) \times 1$, в якому m - елементи, прогнози потоки пасажирів, \hat{x} , $2n$ - підставні змінні.

2) у матричній формі завдання, окрім нового вектора-стовпця оцінюваних параметрів $x2$, представляється зміненним додаванням підставних змінних матрицею A розмірності $n \times (m + 2n)$.

$$A2 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} & 0 & 0 & \dots & 0 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & -1 \end{bmatrix}$$

3) оцінювані параметри x_1, \dots, x_m , які входять до складу вектора $x2$, не повинні впливати на цільову функцію, тобто $\sum_{i=1}^n e_i = f_j^T x2_j$, вектор коефіцієнтів при невідомих цільовій функції f розмірності $(m + 2n) \times 1$ формується за принципом: $f_j = 0, j = \overline{1, m}$,

4)

$$f_j = \begin{cases} 1, & \text{if } e_i \geq 0 \\ 0, & \text{else, } j = \overline{m+1, m+n}; \end{cases}$$

$$f_j = \begin{cases} 0, & \text{if } e_i \geq 0 \\ 1, & \text{else, } j = \overline{m+1, m+2n}. \end{cases}$$

Після проведення розрахунків за наведеним алгоритмом необхідно визначити вектор помилок e на основі оцінок вектору прогнозного попиту пасажиропотоку \hat{x} . В залежності від отриманої помилки e_i , задаються елементи вектора $x2$, починаючи з індексу $m + 1$ (підставні змінні) на основі:

$$r_i = \max(0, e_i), \quad i = \overline{n+1, n+m}; \quad s_i = \max(-e_i, 0), \quad i = \overline{n+m+1, n+2m}.$$

У матричній формі рішення отримує наступний вигляд:

$$\min \sum_{i=1}^n |e_i| = \min(f_j^T x2_j), \quad (3)$$

за лінійних обмежень:

$$A2 \times X2 = y, \quad (4)$$

і двосторонніх обмеженнях оцінюваних параметрів, що накладаються на вектор

$$xlb \leq x2 \leq xub, xlb \geq 0, xub > 0. \quad (5)$$

Розв'язок лінійної оптимізації (3) доцільно проводити з використанням пакету MATLAB опція OPTIMIZATION TOOLBOX, що використовується для матриць великої розмірності.

Потім можемо перейти до безпосередньої розробки гравітаційної моделі пасажиропотоку. Ідея застосування таких моделей при моделюванні транспортних потоків виникла досить давно.

Вперше спроба визначити залежність між пасажиропотком і відстанню належить Є.Лиллю. Найбільше розповсюдження отримала модель, в основі якої гіперболічна функція $y=c/x$, де c -

емпірична константа (коефіцієнт їздок), x – відстань. Пізніше вираз прийняв більш стандартну форму:

$$y = c / x^k, \quad (6)$$

де k – емпірична складова.

Недоліком закону Лилля полягає у принциповій неадекватності таких розподілів у початковій частині значень дальності. Пізніше модель була трансформована у наступну форму гравітаційної моделі міжрегіональних транспортних потоків:

$$y_{ij} = a_{ij} \cdot Q_i \cdot Q_j / C_{ij}^2, \quad (7)$$

де a_{ij} – нормуємий множник,

Q_i, Q_j – чисельність населення у відповідних пунктах,

C_{ij} – відстань між i і j пунктами.

Але у загальному вигляді прогнозна величина потоку може мати більш складний рівень залежності. Пізніше цей недолік був доопрацьований і модель прийняла вид:

$$y_{ij} = a_{ij} \cdot Q_i \cdot Q_j / C_{ij}^\beta, \quad (8)$$

де β – постійна складова.

Така модель доцільна, якщо Q_i, Q_j детерміновані величини. Але на практиці пасажиропотків підпадає під ряд нетривалих факторів (сезонні коливання, години пік). Крім того, прогноз Q_i, Q_j та y_{ij} зробити досить важко, часто відсутня можливість провести кореляційні розрахунки залежностей цих показників, що створює певні проблеми застосування моделі.

Подальший розвиток модель отримала у ентропійних методах. Важливе місце у цьому напрямку досліджень займає формула Мішеля для розрахунків транспортних потоків на залізничній колії:

$$N = 2 \cdot (a + b) \cdot d \cdot \sum_{i=1}^k P_i / L, \quad (9)$$

де N – обсяг потоку,

a, b – емпіричні коефіцієнти відповідно для вантажних і пасажирських перевезень,

d – відстань даної станції до початкового пункту,

P_i – населення станції в межах тяжіння,

k – кількість станцій,

L – довжина лінії.

Ідеї Мішеля були продовжені у дослідженнях Ф. Плеснера, який довів, що емпіричні коефіцієнти залежать від чисельності населення. Результати цих розробок відображені у наступній формулі:

$$\Pi = \frac{1,1\rho}{80L} \cdot a \cdot \sum_{i=1}^k h_i d_i, \quad (10)$$

де ρ – щільність населення,

a, b – емпіричні коефіцієнти, що залежать від чисельності населення в аграрних та індустріальних районах,

h_i – чисельність населення в районі i -ої станції

d_i – відстань даної станції до кінцевої.

Останні дослідження внаслідок інформатизації суспільства та покращення розрахункового інструментарію враховують більшу кількість факторів. Так Кравченко Є.А. пропонує розраховувати пасажиропотік на основі наступної залежності:

$$Q_{\Pi} = \frac{N_i N_j}{L_{\Pi}^2} \cdot R_{\Pi} \left[\frac{(\Pi_i + \Pi_j) \cdot 10000}{(N_i + N_j)} \right], \quad (11)$$

де N_i, N_j – чисельність населення в i і j пунктах;

L_{Π} – відстань між i і j пунктами;

Π_i, Π_j – кількість їздок – відправлень пасажирів між i і j пунктами за одиницю часу;

R_{Π} – коефіцієнт тяжіння i і j пунктів, який залежить від росту населення, культурного розвитку, використання видів транспорту та тарифів і інших господарсько – економічних і соціальних факторів;

Коефіцієнт R_{Π} визначається на основі проведених досліджень.

Взагалі пропонується використовувати таку формулу:

$$y_{ij} = k \cdot Q_i \cdot Q_j / C_{ij}^n, \quad (12)$$

де k – інтегральна гравітації пасажиропотоку,

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5, \quad (13)$$

Цей показник згідно першого закону Тоблера, який визначає, що на будь-який суб'єкт впливає все, але те, що ближче найбільше, включає:

k_1 – рівень доходів населення,

k_2 – обґрунтованість тарифів на перевезення,

k_3 – якість перевезень,

k_4 – структура розміщення виробництва,

k_5 – різниця у потенціалах території,

k_6 – фактор синергії.

Висновки.

Таким чином, розміщення житлових масивів та підприємств, рівень доходів, а також розподіл сфери обслуговування, включаючи автозаправні станції, торговельні центри, станції метро, автобусні і тролейбусні зупинки впливає на пасажиропотоки міста або регіону. При визначенні транспортних потоків, що є необхідною задачею підвищення соціально-економічного розвитку території, доцільно застосовувати гравітаційні моделі.

Література

1. У.Азард Некоторые направления регионального развития и сотрудничества и некоторые вопросы в региональной науке, не имеющие ответов // Региональное развитие и сотрудничество. – М., 1998, №1-2, – 46 С.
2. Тархов, С. А. Эволюционная морфология транспортных сетей / С. А. Тархов. – Смоленск – М. : Универсум, 2005. – 382 с.
3. Хаггер, П. Пространственный анализ в экономической географии. Пер. с английского / П. Хаггер. – М. : Прогресс, 1968. – 390 с.
4. Lowe J. C. The geography of movement / J, C. Lowe, S. Moryadas. – Boston: Houghton Mifflin Company, 1975. – 333 p.
5. Taafe, E. J. Geography of transportation E. J. Taafe, H. L. Gauthier, M/ E/ O'Kelly. 2nd edition. – Upper Saddle River (N.J.): Prentice Hall, 1996. – 422 p.
6. Макроусов, В. Н. Основы территориальной организации транспорта / В. Н. Макроусов. – Саратов : Изд. – во Саратов. ун-та, 1990. – 16 с.
7. Бугроменко, В. Н. Транспорт в территориальных системах / В. Н. Бугроменко. – М. : Наука, 1987. – 112 с.
8. Гольц, Г. А. Транспорт и расселение / Г. А. Гольц. – М. : Наука, 1981. – 248 с.

9. Ильин И.А. Экономика городов: региональный аспект развития. – М.: Наука, 1982. – 208 с.
10. Шаров М. И. Совершенствование метода оценки транспортного спроса на перевозки городским пассажирским транспортом: автореф. дис. на соискание науч. степ. к.т.н. – Иркутск – 2008. – 20с.

УДК 656.078.89

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ (НА ПРИКЛАДІ КРАЇН ЄВРОПИ ТА УКРАЇНИ)

Бондар Н.М., кандидат економічних наук

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями.

Необхідною передумовою інтеграції України до загальносвітової економічної системи є забезпечення ефективного функціонування транспорту, що потребує значних капіталовкладень у модернізацію старих та будівництво нових транспортних магістралей міжнародного значення, формування парку сучасних конкурентоспроможних транспортних засобів, розвитку транспортно-логістичних систем європейського рівня, удосконалення системи управління транспортом. Для обґрунтування відповідних державних програм постає потреба в отриманні об'єктивної оцінки сучасного рівня ефективності транспортної галузі в Україні, його адекватності вимогам світового господарства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з проблеми, що розглядаються. Дослідження проблем транспорту і транспортної інфраструктури є предметом наукових розробок таких вчених, як О.О. Бакаєва [1], М.Н. Бідняка [2], Ю.М. Цветова [3], О.М. Ложачевської [4], Ю.С. Пашенко [5], Сича Є.М. [6], О.С. Ігнатенка [7], В.Г.Шинкаренка [8], М. І. Котлубая [9], F. Vousquet та A. Fayard [10], C. Winston [11], E. Glaeser і J.Kohlhase [12] та інших. В центрі їхньої уваги були питання структурної перебудови та формування механізму розвитку галузі, економічної оцінки нововведень на транспорті, підвищення ефективності діяльності та управління конкурентоспроможністю підприємств галузі тощо.

Визначення окремих питань, що не вирішені в обраній для дослідження проблемі. В той же час, незважаючи на значний інтерес науковців до питань транспортної галузі, єдність поглядів щодо показників ефективності її діяльності відсутня. Враховуючи важливість отримання об'єктивної оцінки рівня ефективності функціонування транспорту в Україні автор зосереджує увагу на обранні загального критерію (узагальненого показника) ефективності функціонування галузі у цілому та визначенні системи показників, які об'єктивно відображають досягнутий стан розвитку транспортної галузі за окремими її підгалуззями і впливають на ефективність галузі у цілому.

Формулювання цілей статті. Метою статті стали: 1) обґрунтування критерію (узагальненого показника) ефективності функціонування галузі; 2) виявлення групи основних чинників, які визначають результати діяльності транспортної галузі у цілому; 3) виявлення на основі кластерного аналізу складу груп (кластерів) країн, близьких за рівнем ефективності функціонування транспортної галузі.

Виклад основного матеріалу статті з обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Одним з основних показників розвитку економіки будь-якої країни є створений в ній валовий внутрішній продукт (ВВП). Порівняльна діаграма величини ВВП, що припадає на душу населення країн ЄС, Білорусі, Молдови, Росії та України за даними 2006-2008 року наведена на рис. 1. Найнижчий рівень цього показника спостерігається в таких країнах, як Молдова, Україна, Македонія, Болгарія. Дещо вищий він у Румунії та Росії. Найвищий рівень ВВП, що припадає на душу населення мають такі країни як Люксембург, Норвегія, Ісландія, Ірландія, Швейцарія, Данія.

Оскільки ВВП країни формується в результаті діяльності усіх галузей господарства країни, для вивчення ефективності функціонування галузі доцільним вважається зосередження уваги на оцінці її внеску у формування ВВП країни. В той же час, абсолютна величина внеску галузі у формування ВВП не дає інформацію про ефективність функціонування галузі, адже один й той самий внесок можна забезпечити, використовуючи різну кількість ресурсів. Тому для можливості коректного порівняння ефективності функціонування галузі країни пропонується застосовувати показник величини ВВП, створеного у галузі в розрахунку на одного працівника цієї галузі за певний