

УДК 859.63.029

Козлюк І. О., канд. екон. наук

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПАСАЖИРОПОТОКІВ НА ВНУТРІШНІХ ЛІНІЯХ ПО ОСНОВНИХ АЕРОПОРТАХ УКРАЇНИ В ПРОГНОЗОВАНОМУ ПЕРІОДІ

Інститут інформаційно-діагностичних систем Національного авіаційного університету

Визначено прогнозуючий розподіл пасажиропотоків на кожен основний аеропорт України з метою максимального задоволення запитів населення повітряними перевезеннями. Представлені розрахунки дозволяють визначити необхідну кількість перспективних повітряних судів на внутрішніх авіалініях.

Постановка проблеми

Жодна галузь промисловості, жоден вид бізнесу не можуть успішно існувати без побудови моделі розвитку ситуації в даній області діяльності як у найближчому, так і у віддаленому майбутньому. Повітряний транспорт має потребу в достовірному прогнозі, мабуть, навіть більшою мірою, чим інші галузі економіки, у чинність своєї високої капіталомісткості в сполученні з низькою нормою рентабельності. Темпи розвитку повітряних перевезень прямо впливають на плани виробників авіаційної техніки, а також постачальників послуг цивільної авіації: аеропортів, підприємств керування повітряним рухом, паливних компаній, авіаремонтних заводів і т. д.

Перевезення становлять основу конкуренції на транспорті – збільшення обсягів перевезень приводить до технічного лідерства, а поліпшення якості перевезень – до відкриття й модифікації ринків транспортних і інших послуг, тому для обґрунтування стратегії подальшого розвитку повітряної транспортної системи необхідно скласти прогноз загального обсягу пасажирських авіаперевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При прогнозуванні потреб у перевезеннях часто використовується метод множинної регресії. Так, на основі рівняння множинної регресії, що враховує такі показники, як валовий національний продукт, національний науково-технічний рівень, обсяги вантажопотоків, коефіцієнт

промислового росту й ряд інших, були прогнозовані обсяги повітряних вантажних перевезень і, як слідство, необхідні для цього обсяги виробництва транспортних літаків [1]. Коефіцієнти регресії в цьому випадку визначалися на основі вихідних даних стандартним методом найменших квадратів.

При дослідженні транспортних перевезень чиказького регіону [2] застосування регресії, що враховує такі показники, як кількість власників автомобілів і щільність населення, дозволило досить точно оцінити кількість поїздок, що доводяться на одну родину. У цьому дослідженні використалися методи нелінійної інтерполяції, зокрема поліноми й функції Гаусса для інтерполяції нелінійних тимчасових залежностей числа автобусних і автомобільних поїздок, що доводяться на один жителя.

Більш складним і тому рідше використовуваним методом прогнозування є факторний аналіз. Цей метод складається в комбінуванні великого числа вхідних змінних в істотно менше число груп, що включають сильно корелюють змінні. Іноді даний метод використовується перед застосуванням регресійного аналізу, завдяки чому останній стає більш ефективним. Факторний аналіз був використаний у роботі [3] для виявлення характерних ділянок транспортних мереж і основних напрямків потоків вантажів між різними країнами, а в роботі [4] – для визначення ефективних потреб у різних видах міського транспорту.

Моделі розвитку дозволяють визначити перспективний розподіл поїздок між різними парами виділених зон на основі вихідних даних про кількість виїздів і вїздів для окремих зон і кількості поїздок між різними парами зон. Прогнозовані значення вихідних змінних виходять від відомих (на момент складання прогнозу) значень за допомогою коефіцієнта розвитку, що являє собою оцінку очікуваних змін у щільності населення й у ступені використання територій розглянутих зон. На основі моделі розвитку розроблений метод Фратера [2].

Основне припущення, застосоване в методі Фратера, полягає в тому, що кількість перельотів з i -ї зони в j -у зону для деякого майбутнього моменту часу пропорційно вихідному числу всіх вильотів з i -ї зони, помноженому на коефіцієнт розвитку j -ї зони. Загальне співвідношення, використовуване в методі Фратера, має такий вигляд:

$$T_{ij} = t_{ij} F_i F_j \sum t_{ix} / (\sum t_{ix} F_x). \quad (1)$$

Оскільки величини, обумовлені з двох наведених вище співвідношень, як правило, не задовольняють умові

$$\sum T_{ij} = F_{ij} \sum t_{ij}, \quad (2)$$

то для його виконання необхідно використати метод послідовних наближень.

Модель конфлікуючих можливостей заснована на припущенні про те, що число людей, які вилітають із деякого пункту, прямо пропорційно числу «можливостей», що є на маршруті, і обернено пропорційно числу «реалізованих можливостей». У якості згаданих «можливостей» можна розглядати, наприклад, міста, у яких може бути запропонована робота (для людей, які шукають роботу), курорти (для людей, які бажають відпочити).

Модель конфлікуючих можливостей математично може бути представлена за допомогою виразу:

$$T_{ij} = O_i \left[e^{-LD} - e^{-L(D+D_j)} \right], \quad (3)$$

де T_{ij} – кількість поїздок з i -ої зони;

O_i – загальна кількість поїздок, які починаються в i -й зоні;

D – кількість поїздок, які закінчуються в j -й зоні;

L – деяка оцінка ймовірності того, що у випадково вибраному пункті призначення може бути досягнута мета окремої поїздки (L являє собою величину, яку необхідно визначити на основі вихідних даних; вона характеризує ступінь убавання величини T_{ij} зі збільшенням числа цілей і довжини маршруту); e – основа натурального логарифма.

Основою моделі рівних можливостей є розподіл перевезень, які характеризуються однаковими часами, відстанню й вартістю, по групах однотипних перельотів, тобто перельотів з однаковими цілями. Виділені таким способом равноімовірнісні перельоти в границях кожної групи.

Модель переваги являє собою модель розподілу перельотів трохи іншого типу, ніж розглянуті вище. Основне припущення, використовуване при побудові даної моделі, полягає в тому, що для кожного пункту відправлення можна оцінити перевагу всіх можливих пунктів призначення, а для кожного пункту призначення можна оцінити перевагу всіх можливих пунктів відправлення. У даній моделі з'єднання двох певних пунктів відправлення й призначення може бути оптимальним тільки для одного з пунктів, причому таке з'єднання повинне задовольняти деяким умовам стійкості.

У моделі притягання, що є широко розповсюдженою моделлю, робиться оцінка кількості перельотів з i -ї зони в зону j -у на основі припущення про те, що розглянута величина прямо пропорційна деякому коефіцієнту «привабливості» j -ї зони й обернено пропорційна коефіцієнту, що характеризує далекість i -ї і j -ої зон друг від друга (в одиницях або часі відстані).

Модель притягання можна представити математично за допомогою наступного вираження:

$$N_{ij} = (P_i A_j L_{ij} K_{ij}) / (\sum A_j L_{ij} K_{ij}), \quad (4)$$

де N_{ij} – число перельотів з i -ї зони, наданих завдяки привабливості j -ї зони;

P_i – загальне число поїздок, які починаються в i -й зоні;

A_j – загальне число поїздок, притягнутих j -ю зоною;

L_{ij} – емпірично обумовлений коефіцієнт далекості;

K_{ij} – коефіцієнт за допомогою якого враховуються ефекти соціального й економічного характеру.

Успіх цієї моделі пояснюється її простотою, а також тим, що на агрегатному рівні розгляди є невелике число параметрів, які необхідно визначати попередньо з необхідної для прогнозу ступенем точності.

Модель притягання, модель конфліктуючих можливостей, а також метод Фратера були піддані порівняльному аналізу шляхом їхнього одночасного використання для вивчення розподілу перельотів у Вашингтоні – виявилось, що прогноз на основі моделі притягання є набагато більш точним і повним, ніж на основі моделі конфліктуючих можливостей.

Формулювання цілей статті

Ціль даної статті – на основі рівняння множинної регресії, що враховує валовий національний продукт, обсяги пасажиропотоків, середньорічний пасажирський тариф на внутрішніх авіалініях, % до середньомісячної заробітної плати, перевищити обсяги пасажирських авіаційних перевезень, що дає передумову визначити необхідні для цього обсяги виробництва пасажирських літаків.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо тепер більш докладно методи прогнозування стосовно пасажирського авіаційного транспорту. Викорис-

товувани в цьому випадку так звані моделі розподілу поїздок містять у собі моделі розвитку конфліктуючих можливостей, рівних можливостей, переваги й притягання. Ці моделі побудовані на різних теоретичних припущеннях щодо того, яким чином локалізація пунктів відправлення й призначення, обсяг перевезень і інші елементи авіатранспортної системи взаємозалежні з іншими вихідними змінними. У якості останніх виступають такі параметри, як планований ріст тарифів, коефіцієнти реальної зайнятості, розташування торговельних зон або зон розваг і відпочинку, просторовий і тимчасовий поділ різних міст, фактори привабливості тих або інших районів міста.

Аналіз основних моделей розподілу поїздок показав, що всі вони носять емпіричний характер, при якому неможливо встановити ймовірність вильоту пасажирів в той або інший аеропорт.

А нам необхідно врахувати насамперед нерівномірність пасажиропотоку в часі, наявність періодів пікових навантажень по обсягах пасажирських перевезень, що відповідають мінімальному й максимальному значенню.

Тому, використовуючи модель притягання, для розробки математичної моделі прогнозу розподілу пасажиропотоків авіатранспортом, за базову модель приймемо полумарківську модель.

Представимо комплекс із семи аеропортів у містах Дніпропетровськ (Дп); Донецьк (Дц); Київ (Жуляни + Бориспіль) (К); Львів (Л); Одеса (О); Сімферополь (С) і Харків (Х) у вигляді системи з дискретною безліччю станів $N=7$, переходи між якими можливі в дискретні моменти часу експлуатації $t = 1, 2, \dots, 365$, тобто у вигляді *дискретного марківського процесу*.

Вважаємо, що перехід з одного стану в інший (переліт з одного аеропорту в інший) відбувається з відповідної залежної від часу локальною ймовірністю переходу $P(t)_{i,j}$, що є умовною стосовно факту виникнення переходу-стрибка).

Індекси i, j – відповідно, аеропорт вильоту й аеропорт посадки.

Для зручності подальшого викладу, зокрема, для нумерації елементів матриць, кожному місту (стану) доцільно привласнити індивідуальний індекс. Нехай: Дп = 1; Дц = 2; К = 3; Л = 4; О = 5; С = 6; Х = 7.

Оскільки система може перебувати в одному з N станів, з якого, у свою чергу, може перейти в одне з $N-1$ станів, то для кожного моменту часу t необхідно задати $N^2 - N$ ймовірностей переходу $P(t)_{i,j}$, які зручно записати у вигляді матриці розмірністю $N * N$:

$$P(t) = \begin{pmatrix} 0 & P(t)_{1,2} & \dots & P(t)_{1,N} \\ P(t)_{2,1} & 0 & \dots & P(t)_{2,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(t)_{N,1} & P(t)_{N,2} & \dots & 0 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Варто мати на увазі, що в позначеннях $P(t)_{i,j}$ перший індекс означає стан системи в попередній (поточний) момент часу, а другий указує на можливий стан системи в наступний момент.

Матрицю (5) назвемо *перехідною* або *матрицею переходу*. Її особливість у тім, що вона містить ймовірності всіх можливих переходів системи. Очевидно, що ці переходи утворюють *повну групу подій*, так що сума ймовірностей всіх елементів дорівнює одиниці.

Представимо матрицю переходу аналізованої системи у вигляді схематичної моделі – *сигнального графа дискретних станів системи* (рис. 1), інтерпретуючи переходи системи зі стану i у стан j як передачу сигналу від одного вузла до іншого з коефіцієнтом передачі $P(t)_{i,j}$.

Ймовірність переходу системи зі стану i у стан j для кожного моменту часу t у загальному випадку є функцією ряду параметрів:

$$P(t)_{i,j} = f(A_i, K_i, L_{i,j}, P_{C,i,j}, P_{B,i,j}) \lambda(t)_j, \quad (6)$$

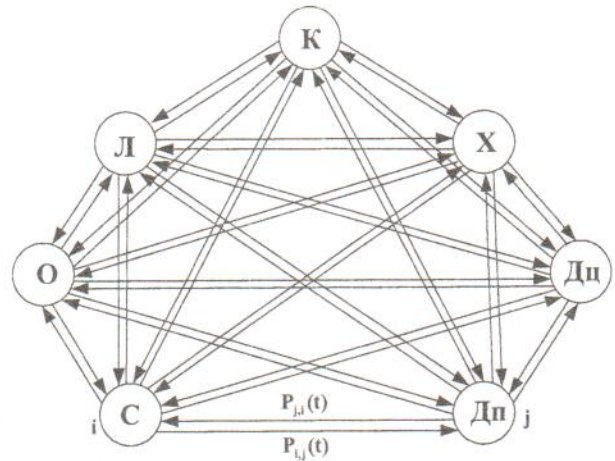


Рис. 1. Граф дискретних станів системи

де A_i – питома кількість населення i -го міста,

$$A_i = \frac{A_{0i}}{A_{\Sigma}}, \quad (7)$$

де A_{0i} – населення i -го міста;

A_{Σ} – сумарне населення розглянутих міст;

K_i – коефіцієнт заробітної плати населення i -го міста,

$$K_i = \frac{K_{0i}}{K_{\Sigma}}, \quad (8)$$

де K_{0i} – середня заробітна плата по i -му місту;

K_{Σ} – сумарна середня заробітна плата по розглянутих містах;

$L_{i,j}$ – емпіричний коефіцієнт далекості i -го міста від j -го,

$$L_{i,j} = \frac{L_{0i,j}}{L_{\max}}, \quad (9)$$

де $L_{0i,j}$ – відстань між i -м і j -м містами;

L_{\max} – максимальна відстань серед розглянутих варіантів;

$P_{C,i,j}$ – ймовірність вибору j -го міста жителем i -го міста для ділової, сімейної, туристичної й т. ін. поїздки,

$$P_{C_{i,j}} = \phi(C_{i,j}), \quad (10)$$

де $C_{i,j}$ – коефіцієнт привабливості j -го міста для жителів i -го (курортна зона, промислова зона для відряджень, центр туризму й т. ін.). Визначається експертним шляхом (за допомогою аналізу процентного співвідношення між діловими, туристичними, сімейними й т. ін. поїздками);

$P_{B_{i,j}}$ – імовірність вибору для поїздки з i -го міста в j -е повітряного транспорту. Даний показник є інтегральним і в загальному випадку враховує такі фактори, як час перебування в дорозі, вартість квитка й т. ін. Припускаємо, що дані фактори є функцією відстані між містами:

$$P_{B_{i,j}} = \psi(L_{0,i,j}); \quad (11)$$

$\lambda(t)_j$ – інтенсивність польотів в j -й місто, що враховує залежність імовірності переходу з j -ї стан з будь-яких інших станів від часу t . Введення даного множника пов'язане з тим, що в загальному випадку все з перерахованих вище параметрів у тім або іншому ступені змінюються із часом (так, наприклад, зміна сезонів спричиняє зміну ступеня привабливості того або іншого міста, зміна заробітної плати (особливо в містах, наявність роботи в яких має яскраво виражений сезонний характер), сезонні знижки вартості квитків і т. д.

Висновки

Таким чином, комплекс із базових аеропортів у відповідних містах представлений у вигляді системи з дискретною безліччю станів, переходи між якими можливі в дискретні моменти часу експлуатації у вигляді полумарківського процесу. Це пояснюється нерівномірністю пасажиропотоку в часі, наявністю періодів пікових навантажень по обсягах пасажирських перевезень, що відповідають мінімальному й максимальному значенню.

Даний підхід є одним з можливих шляхів одержання результатів прогнозування – математична обробка даних за поточний період з одержанням аналітичних залежностей, які надалі будуть використатися для одержання даних на перспективу.

Список літератури

1. *Вопросы совершенствования планирования и применения математических методов на транспорте.* / Сб. статей. – М.: ИКТП, 1998. – 223 с.
2. *Дрю Д.* Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1989. – 424 с.
3. *Блинов О. Е.* Статистические имитационные модели прогнозирования. – М.: Экономика, 1991. – 78 с.
4. *Гончаров М. Ю.* Системний факторний аналіз економічних процесів на транспорті. – К.: Логос, 1999. – 423 с.