

## **ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**

УДК 338.27



**Сокульський О.Є.**

*кандидат  
технічних наук,  
доцент  
Національного  
технічного  
університету  
України  
«Київський  
політехнічний  
інститут»*



**Гілевська К.Ю.**

*асистент кафедри  
міжнародних  
перевезень  
та митного  
контролю  
Національного  
транспортного  
університету*



**Васільцова Н. М.**

*асистент  
кафедри економіки  
Національного  
транспортного  
університету*

*Анотація:* Проведений аналіз факторів, що впливають на обсяги міських пасажирських перевезень, та існуючі моделі прогнозування їх обсягу.

*Аннотація:* Проведен аналіз факторів, що впливають на об'єми городських пасажирських перевезень існуючих моделей прогнозування їх об'ємів.

*Abstract:* This article describes the analysis of the factors affecting the volume of urban passenger transport and existing models to predict their amount.

Основним показником роботи будь-якого виду пасажирського транспорту будь-якої форми власності є обсяг перевезень. У сучасних умовах для освоєння постійно змінних пасажиропотоків у великих містах ефективним є комплексний розвиток і взаємодія всіх видів транспорту, які мають працювати в оптимальному режимі. На всіх стадіях перевізного процесу (планування, організація та управління) повинна відбуватись та відбувається процедура визначення потенційного (можливого) обсягу перевезень, а саме прогнозу-

вання - на короткострокову, середньострокову та довгострокову перспективу. Аналіз і прогноз пасажирських перевезень є важливим питанням стратегічного управління перевезеннями, яке дозволить вирішити низку завдань та удосконалити транспортні пасажирські системи великих міст.

Згідно законодавства України визначено, що проектування системи пасажирського транспорту відбувається на основі прогнозу пасажиропотоків на різні строки. Також визначено, що завдання організації пасажирського транспорту для міст з населенням 250 тисяч чоловік і більше потрібно вирішувати на основі комплексних схем розвитку всіх видів міського пасажирського транспорту [1].

Для розробки комплексних схем видів міського пасажирського транспорту необхідно брати до уваги прогнози розвитку міста (тобто з урахуванням проробок генплану), де головним завданням є визначення очікуваного обсягу перевезень (річних, середньодобових) і розподіл його

між різними видами транспорту. У свою чергу генеральний план населеного пункту розробляється на довгостроковий період - 15-20 років, де визначено, з поміж інших заходів, розвиток транспорту, а саме: вдосконалення та підвищення ефективності використання сформованої транспортної інфраструктури. Також для різних видів міського пасажирського транспорт) розробляються програми розвитку на державному та місцевому рівнях зокрема електричного, де визначальним є розробка або уточненні комплексних схем розвитку міського пасажирського транспорту і схем організації руху з метою збільшення обсягу перевезень. Ці програми розробляються на середньострокову перспективу [2].

**Постановка задачі.** Обсяги перевезень пасажирів постійно змінюються, що зумовлює складність достовірного прогнозування транспортних потоків для ефективної організації пасажирських перевезень, тому в сучасних умовах прогнозування пасажиропотоку має вагомe значення для ефективної організації роботи транспорту, використання рухомого складу, вдосконалення технології роботи й технічного оснащення транспортних систем і забезпечення високоякісного обслуговування пасажирів.

Таким чином, перед розробниками та виконавцями програм розвитку видів пасажирського транспорту постає питання вибору методу прогнозування обсягів перевезень на основі аналізу впливу політико-правових, економічних, соціальних, технологічних, технічних факторів, що впливають на параметри попиту на послуги пасажирського транспорту загального користування. Адже від точності прогнозу залежить майбутній розвиток виду пасажирського транспорту. Для цього необхідні визначити, які методи на сьогодні існують, які використовуються та на які строки вони прогнозують.

**Виклад основного матеріалу.** Вирішення складних задач удосконалення системи функціонування міського пасажирського комплексу держави в перспективі має здійснюватися на підставі даних більш реального прогнозу обсягів і структури міських пасажирських перевезень, які впливають на завантаження міського пасажирського транспорту. Ринок пасажирських перевезень зазнає впливу різноманітних факторів: макро-і мікроекономічних, зовнішніх і внутрішніх, регіональних і локальних, поточних, соціаль-

них, культурних, демографічних, природних, науково-технічних, інформаційних і ряду інших факторів. Вивчення ступеня впливу кожної із названих груп факторів ускладнюється часто гострими протиріччями державних і регіональних інтересів.

Демографічна ситуація значно впливає на завантаження міського пасажирського комплексу. Вона представляє собою зовнішній, об'єктивний і довготривалий фактор, який визначає обсяги пасажирських перевезень. Демографічна ситуація залежить від народжуваності, старіння і смертності населення держави, а також від рівня і напрямку внутрішньої та зовнішньої міграції. Негативна сумарна дія названих факторів призвела до значного зменшення населення в Україні. З іншого боку значно виросла кількість населення великих міст. Звичайно, стан демографічної ситуації прямо відбився на обсягах перевезень пасажирського транспорту.

Економічні фактори залежать від загального стану економіки, рівня інфляції, валютного курсу гривні, стану податкової системи та інше. Все це впливає на матеріальне благополуччя населення – одного із важливіших чинників величини обсягів пасажирських перевезень. Він є визначальною умовою вибору людьми для використання того чи іншого виду транспорту. Значний вплив на обсяги пасажирських перевезень має платоспроможність населення, яка залежить від рівня поточних доходів людей і цін на товари і послуги. Тому міський пасажирський транспорт набув в сучасних умовах особливу соціальну значимість для населення України, основна частина якого має дуже низькі доходи.

Соціокультурні фактори суттєво впливають на виділення населенням відповідних переваг в сфері міських пасажирських транспортних перевезень. Престижність основних видів громадського транспорту у представників різних груп і верств населення залежить від обставин соціально-професійного і соціокультурного плану. Важливу роль для вибору того чи іншого виду транспорту відіграють звички, амбіції, які діють, в основному на соціально-психологічному рівні.

Фактори безпеки поїздки також відіграють важливу роль при виборі виду громадського транспорту.

Фактор конкуренції між видами транспорту має суттєве значення в формуванні ринку міських пасажирських транспортних послуг. Пасажир обирає вид транс-

порту, в основному, за наступними ознаками: вартість проїзду, зручність розкладу руху, тривалість поїздки та її комфортність.

Стан рухомого складу, основних фондів теж є важливим фактором обмеження чи зростання обсягів перевезень пасажирів. Недостатній рівень якості транспортних послуг не може бути найвагомим фактором зменшення обсягів пасажирських перевезень. Отже, для підвищення якості транспортних послуг залізницям необхідно мати сучасний рухомий склад з новою системою його обслуговування, експлуатації і ремонту.

Існують різні підходи до створення економіко-математичних моделей прогнозування необхідного обсягу пасажирських перевезень [3].

В роботі І. С. Єфремова [4] визначено, що на перспективні обсяги перевезень

впливають дві групи змінних:

1) ті, що впливають на потенційне зростання обсягів перевезень;

2) ті, що обмежують потенційне зростання обсягів перевезень.

До першої групи належать такі змінні:

- чисельність населення міста;
- щільність забудови міста;
- ступінь автомобілізації;
- соціальний склад;
- рівень добробуту населення;

До другої групи входять такі змінні:

- витрати часу на пересування;
- дальність пересування;
- вартість поїздки;
- ступінь мобільності.

В свою чергу противагою цим змінним є транспортна ситуація, а саме:

- транспортна забезпеченість міста;
- щільність транспортної мережі;
- інтенсивність руху транспортних засобів;

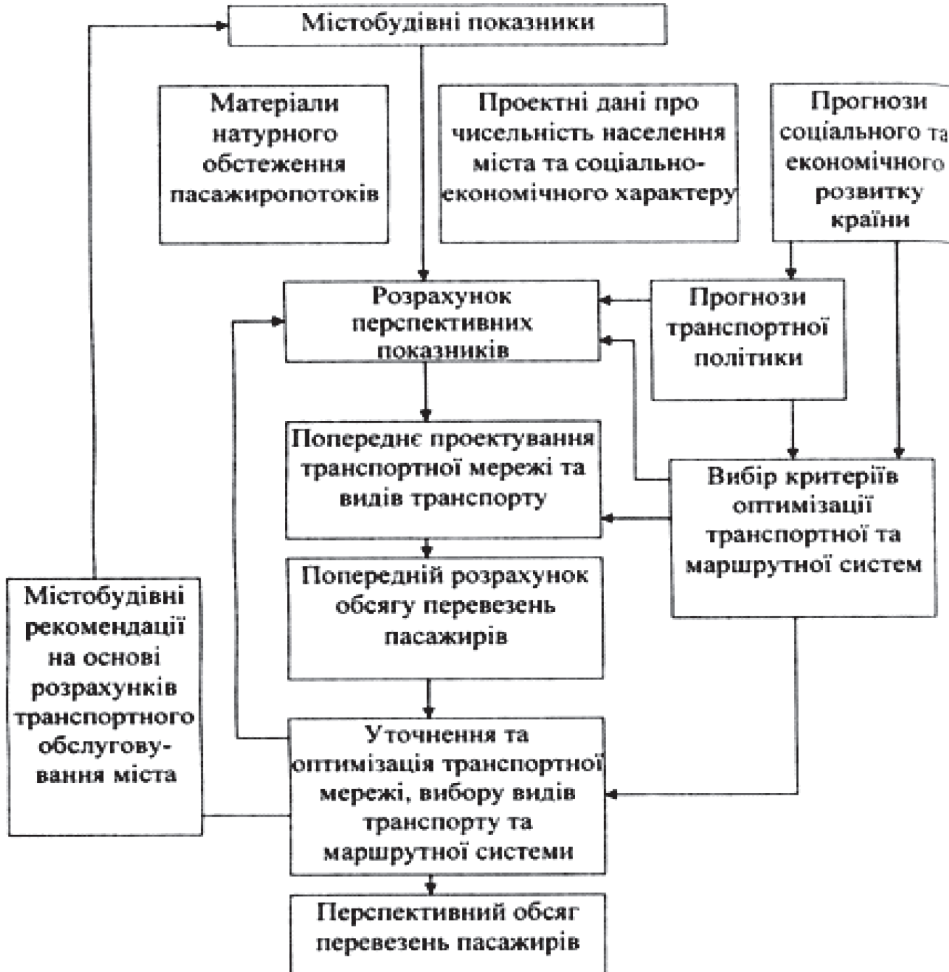


Рис. Схема розрахунку прогнозованого обсягу пасажирських перевезень

- маршрутна система;
- види пропонованого транспорту.

Також в цій роботі запропоновано схему розрахунку прогнозованого обсягу перевезень (рис.), де визначено основні етапи та показники, що впливають на перспективний обсяг перевезень.

На цій схемі видно, що розрахунок очікуваних обсягів перевезень є складовою загального проекту організації транспортного обслуговування та принципово невідокремлений від нього.

Основою для визначення обсягів пасажирських перевезень в заданих планувальних і транспортних умовах є імітаційні моделі де головним є розрахунок кореспонденцій між транспортними районами.

В загальному вигляді кореспонденції визначають за залежністю:

$$h_{ij} = k_B \cdot HO_i \cdot HP_j \cdot f_{Tij}$$

де  $h_{ij}$  - кореспонденція між транспортними районами  $i$  та  $j$ , пас./год.;

$k_B$  - балансний коефіцієнт;

$HO_i$  - обсяг відправлення з  $i$ -го району, пас./год.;

$HP_j$  - обсяг прибуття в  $j$ -ий район, пас./год.;

$f_{Tij}$  - функція тяжіння між  $i$ -м та  $j$ -м районами.

Моделювання визначення кореспонденцій у математичному вигляді реалізована наступним чином:

$$h_{ij} = \frac{HO_i \cdot HP_j \cdot k_j \cdot d_{ij}}{\sum_{j=1}^n (HP_j \cdot k_j \cdot d_{ij})}$$

де  $k_j$  - вирівнювальний коефіцієнт тяжіння поїздок із району  $i$  в  $j$ ;

$d_{ij}$  - функція тяжіння між районами  $i$  та  $j$ .

Функція тяжіння характеризує умови та тривалість поїздки. Найбільш адекватною моделлю функції тяжіння є нормально-ймовірнісна, яка визначається наступним чином:

$$d_{ij} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-t_{ij}^2 / 2\sigma^2}$$

де  $d_{ij}$  - витрати часу на пересування до розглянутого центру тяжіння  $j$ , год.;

$\sigma$  - параметр закону розподілу, визначений у функції прийнятої граничної важкості сполучення.

Але такий підхід врахує лише витрати часу на пересування. В інших роботах було запропоновано врахувати функцію привабливості, яка визначається інтенсивністю руху маршрутних транспортних засобів, кількістю пересадок, рівнем заповнення салону та вартістю проїзду.

В результаті було отримано функцію привабливості, що враховувала час слідування транспортного засобу на ділянці маршруту, рівень наявності вільного місця в салоні транспортного засобу і тариф:

$$f_n = \left( \frac{t_{CP}}{t_M} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{q_{CP}}{q_M} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{CP}}{T_M} \right)^{1,69}$$

де  $f_n$  - функція привабливості;

$t_M$  - час поїздки ділянкою маршруту, год.;

$t_{CP}$  - середня тривалість перебування транспортного засобу на ділянці маршруту, год.;

$q_M$  - рівень наявності вільного місця в салоні транспортного засобу на маршруті, пас./м<sup>2</sup>;

$q_{CP}$  - середній рівень наявності вільного місця в салоні транспортного засобу на маршрутах, що проходять спільною ділянкою, пас./м<sup>2</sup>;

$T_M$  - тариф на маршрут, грн.;

$T_{CP}$  - середній тариф на маршрутах, що проходять спільною ділянкою, грн.

Таким чином, можна отримати інші моделі, які будуть враховувати окремі фактори системи пасажирського транспорту. Однією з таких є модель розподілу кореспонденцій між автобусами, які працюють у звичайному та експресному режимах, що загалом виглядає так:

$$h_{ij}^{(z)} = \frac{h_{ij} \cdot a \cdot A_e}{100}$$

$$h_{ij}^{(e)} = \frac{h_{ij} \cdot b \cdot A_e}{100}$$

де  $h_{ij}^{(z)}$  - кореспонденції пасажирів, які користуються автобусами, що працюють у звичайному режимі, %;

$h_{ij}^{(e)}$  - кореспонденції пасажирів, які користуються автобусами, що працюють в експресному режимі, %;

$h_{ij}$  - кореспонденція між транспортними районами  $i$  та  $j$ , пас.;

$a, b$  - коефіцієнти моделі;

$A_e$  - кількість транспортних засобів, що



працюють в експресному режимі, од.

Головними перевагами застосування моделей визначення кореспонденцій при прогнозуванні обсягів перевезень є: врахування заміни одного виду транспорту іншим; введення в експлуатацію нових і закриття старих маршрутів і зміни у вулично-дорожній мережі; соціальні фактори перевізного процесу та ін. При цьому головним недоліком є неврахування стану системи пасажирського транспорту і тих соціально-економічних наслідків (стан і кількість транспортних засобів, стан і довжина мережі, стан допоміжного забезпечення та ін.), що характеризують його.

На відміну від моделей розрахунку кореспонденцій, В. К. Долею запропоновано визначення обсягу перевезень з урахуванням рухомості та чисельності населення міста [5]:

$$Q_t^{nac} = P_o \cdot k_{np} \cdot k_{mm} \cdot k_n \cdot (N_m + \zeta \cdot N_{np})$$

де  $Q_t^{nac}$  - обсяг перевезень пасажирів, пас.;

$P_o$  - загальна рухомість населення, поїздок 1-го мешканця за рік;

$k_{np}, k_{mm}, k_n$  - коефіцієнти користування індивідуальним транспортом, масовим пасажирським транспортом і пересадочності відповідно;

$N_m$  - кількість мешканців у місті, чол.;

$\zeta$  - коефіцієнт приведення рухомості приїжджого населення до рухомості основного населення міста;

$N_{np}$  - кількість приїжджих до міста громадян із приміської зони чи інших міст, чол.

Такий підхід не враховує показників транспортної мережі та їх зміни в часі, що при  $N_m = const$ ,  $N_{np} = const$ ;  $P_o = const$  і матиме також постійним характер.

Для визначення перспективного обсягу перевезень запропоновано такий критерій, як середньорічний приріст, залежність має вигляд [2]:

$$Q_t^{nac} = Q_o^{nac} \cdot \left(1 + \frac{q_{nac}}{100}\right)$$

де  $Q_t^{nac}$  ~ обсяг перевезень у початковому році, пас.;

$q_{nac}$  - середньорічний приріст обсягу перевезень у перспективі, %.

Зроблені припущення, що тенденції до зростання (спаду) в минулому зберігаються в майбутньому, не дозволяють використовувати цю модель для прогнозування обсягу перевезень на термін більш ніж 3-5 років.

В такому випадку можливе застосування математичної моделі з періодичним коливанням у вигляді:

$$Q(t)_{nac} = Q_o^{nac} + \sum_{k=0}^{\infty} (A_k \cdot \cos(\omega_k \cdot t) + B_k \cdot \sin(\omega_k \cdot t))$$

де  $Q_t^{nac}$  - обсяг перевезень пасажирів у момент часу  $t$ , пас.;

$A_k, B_k$  - коефіцієнти моделі;

$\omega_k$  - кутова частота.

Остання залежність актуальна лише для сезонних і добових коливань зміни обсягів перевезень пасажирів.

**Висновки.** Отже, основними факторами, які визначають обсяги і структуру міських пасажирських перевезень, є наступні: чисельність населення і тенденція його змін; рівень і темпи розвитку економіки в державі і в областях; зміни в регіональному розміщенні населення; зміни міського і сільського населення; підвищення матеріального (грошові доходи) і культурного рівня життя населення; темпи розвитку різних видів транспорту; тарифна політика. Названі фактори, як правило, не діють самостійно, вони тісно взаємопов'язані між собою.

Найбільш прийнятним науково-методичним апаратом, що прогнозує обсяги перевезень пасажирським транспортом є система економіко-математичних моделей В. К. Доли, яка дозволяє врахувати основні фактори, що впливають на параметр, який прогнозується.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92\*\*. - [Чинний від 2002-04-19]. - К.: ДП «Укрархбудінформ», 2002. - 92 с. - (Національний стандарт України).
2. Санько Я. В. Довгострокове прогнозування обсягів перевезень пасажирів трамваем з урахуванням впливу зовнішнього середовища (на прикладі ХКП «Міськелектротранс») : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Санько Ярослав Володимирович. - Х., 2010.- 150 с.
3. Доля В. К. Прогнозування параметрів транспортних систем: підручник / В. К. Доля, Я. В. Санько, Т. О. Самісько; Харк. нац. акад. міськ. госп.-ва. - Х.: ХНАМГ, 2012. - 312 с.
4. Ефремов И. С. Теория городских пассажирских перевозок / Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. - М.: Высшая школа, 1980. - 535 с.
5. Доля В. К. Организация пассажирских перевозок у містах / Доля В. К. - Харків: Нове слово, 2002. - 140 с.