

## ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ФУНКЦІЇ ТЯЖІННЯ НА ПОКАЗНИКИ КІЛЬКОСТІ ПАСАЖИРОМІСЦЬ

**Іванов І. Є.,** к.т.н., докторант кафедри транспортних системи і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, E-mail: kafedra\_tsl@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4991-7755

*У статті розглядається врахування змін функцій тяжіння на розподіл загальної кількості пасажиромісць. Розроблено модель спільного функціонування маршрутів міського пасажирського транспорту. У результаті математичного моделювання визначено зміни загальної кількості пасажиромісць для різних місткостей транспортних засобів та їх відсоткове співвідношення, а також отримано закономірності зміни кількості пасажиромісць (для різних номінальних місткостей) залежно від функції тяжіння.*

**Ключові слова:** маршрутна мережа, транспортна робота, рухливість, номінальна місткість.

**Вступ.** Задача побудови міських пасажирських транспортних систем відноситься до складних і багатофакторних, тому що кожен етап може вирішуватися декількома методами й мати різнопланові результати залежно від обраних критеріїв. При цьому перерозподіл транспортної роботи з особистого транспорту на громадський має позитивний вплив на екологічні, соціальні й економічні показники життєдіяльності міст. Але існують проблеми визначення параметрів, що обумовлюють потенціальну та реалізовану рухливість населення міст.

**Постановка проблеми.** Уся рухливість мешканців міста підрозділяється на трудову, культурно-побутову та змішану, це коли громадянин послідовно з трудової має культурно-побутову поїздку, наприклад, їдучи на роботу, завозять дитину у дитячий садок. В свою чергу, рухливість може реалізовуватись транспортом або пішки.

Окремої уваги заслуговують як транспортні, так і пішохідні переміщення. При цьому пішохідні можуть розглядатись окремо, а транспортні, в багатьох випадках, як сумісні з пішохідними. Так, наприклад, громадянин пішки пересувається до зупинного пункту міського транспорту і потім їде у громадському транспорті, потім пішки переміщується до зупинки іншого маршруту, здійснює поїздку в міському транспорті, а потім пішки підходить до кінцевого пункту призначення. Таких комбінацій пішого і транспортного переміщення може бути багато з пересадками та без них, з використанням особистого та громадського транспорту, або і того, і іншого за час одного переміщення [1, 2].

Таким чином сукупність можливостей мешканців міст для здійснення переміщення обумовила безліч досліджень для прогнозування, розрахунку, моделювання, розподілу транспортної роботи між наведеними способами її організації і реалізації [1–4]. Тому формування підходу до визначення перерозподілу транспортної роботи з особистого транспорту на громадський є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для визначення потенціальних кореспонденцій застосовують два способи: натурні дослідження та математичне моделювання.

Застосування першого способу дозволяє отримати більш достовірні дані за рахунок використання потрібної кількості дослідників, але є дороговартісним. При чому головним недоліком є неможливість визначити потенційні кореспонденції при будь-яких змінах маршрутної мережі або транспортної мережі, центрів тяжіння та ін.

Альтернативою дорогим натурним дослідженням є застосування другого способу визначення потенційних кореспонденцій – математичного моделювання.

Аналіз робіт [1–6] дозволив виявити, що при визначенні транспортних кореспонденцій у містах використовують три основні групи математичних моделей: детерміновані; ймовірнісні та евристичні. Так, встановлено, що детерміновані моделі дозволяють однозначно визначити кількість транспортних кореспонденцій залежно від

визначальних факторів. Одним з найбільш розповсюджених представників детермінованих моделей є гравітаційний метод [1–7]:

$$H_{ij} = k \cdot HO_i \cdot HP_j \cdot d_{ij}, \quad (1)$$

де  $H_{ij}$  – потенційні кореспонденції між районами, що можуть бути отримані відповідно до повної аналогії гравітаційного закону, пас.;  $k$  – калібрувальний коефіцієнт;  $HO_i$  – обсяг відправлення пасажирів із району  $i$  за розрахунковий період, пас.;  $HP_j$  – обсяг прибуття пасажирів у район  $j$  за розрахунковий період, пас.;  $d_{ij}$  – функція тяжіння, яка відображає відстань або витрати часу та коштів на переміщення з району  $i$  у район  $j$ .

Основною складовою всіх математичних моделей є функція тяжіння, яка за своїм фізичним змістом є зворотною величиною відстані або часу переміщення:

$$d_{ij} = \frac{1}{l_{ij}}, \quad (2)$$

або

$$d_{ij} = \frac{1}{t_{ij}}, \quad (3)$$

де  $l_{ij}$  – відстань між  $i$ -им та  $j$ -им районом, км;  $t_{ij}$  – час руху між  $i$ -им та  $j$ -им районом, год.

У різні часи були отримані різновиди функції тяжіння, а саме [1–11]:

$$d_{ij} = \frac{1}{l_{ij}^\mu}, \quad (4)$$

$$d_{ij} = \frac{a}{l_{ij}^\mu}, \quad (5)$$

$$d_{ij} = ae^{-\beta \cdot l_{ij}}, \quad (6)$$

$$d_{ij} = ae^{-\beta \cdot l_{ij}^\mu}, \quad (7)$$

де  $\mu$  – показник степеня;  $a, \beta$  – коефіцієнти моделі.

Відмінністю ймовірнісних математичних моделей від детермінованих є використання в якості критерію розподілу кореспонденцій – ймовірності вибору переміщення [3, 7, 10]:

$$H_{ij} = k \cdot HO_i \cdot HP_j \cdot P_{ij}, \quad (8)$$

де  $P_{ij}$  – ймовірність того, що переміщення почнеться в районі  $i$  та закінчиться в районі  $j$ .

Недоліком цього підходу є пошук надскладних функцій розподілу ймовірностей та отримання адекватних значень кореспонденцій у масштабах міста.

Натомість евристичні моделі визначення транспортних кореспонденцій призначені для вивчення й аналізу динаміки пасажирських перевезень [2–4, 8, 9]. Тобто на підставі емпіричних моделей та інтуїтивно отриманих коефіцієнтів вони передбачають зміни кількості переміщень внаслідок введення нових пасажироутворюючих та пасажиропоглинаючих пунктів (промислових об'єктів, житлових масивів, торгівельних центрів, тощо). Але помилки в розрахунках при користуванні ними досягають 200 % і вище, що не дозволяє використовувати їх для визначення транспортних кореспонденцій, на основі яких можна було б розробляти пропозиції про зміну маршрутної системи.

**Мета дослідження.** Метою даної статті є визначення закономірностей зміни кількості пасажиромісць залежно від зміни функції тяжіння.

**Виклад основного матеріалу.** Вибір пасажиромісць маршруту переміщення має загальну направленість до бажання використання такої поїздки, при якій зручності максимальні, тобто коефіцієнт динамічного заповнення салону під час руху – мінімальний. Такий вибір, в кінцевому результаті, обумовив перерозподіл пасажирів із салонів переповнених маршрутів у салони недозаповнених транспортних засобів інших, альтернативних маршрутів. Таким чином, попит і пропозиція на маршрутах вирівнюється не тільки шляхом перерозподілу пасажирів, а й варіюванням кількості транспортних засобів на маршрутах. Якщо допустити, що попит і пропозиція в період функціонування маршрутної системи рівні між собою, то можна записати систему рівностей:

– для першого маршруту:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{Ж}^{0,063} \cdot (y_a^{0,27} \cdot (\delta - 1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05})^2 \cdot H_{Ij} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Ii} \cdot k_i / l_{ij}^\mu)}}{\sum_{X=1}^R A_X \cdot V_{eX} \cdot q_X \cdot T_{нік}} \times \frac{\sum_{k=1}^s \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{1k}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{1k}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{1k}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{1k}}{\sum_{k=1}^s l_{1k}} = \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{Ij} \cdot k_j \cdot J_1 \cdot \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{1k}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{1k}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{1k}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Ii} \cdot k_i / l_{ij}^\mu) \cdot \sum_{m=1}^r J_{mk} \cdot \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{A_1 \cdot V_{e1} \cdot q_1 \cdot T_{нік}}, \quad (9)$$

– для другого маршруту:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{Ж}^{0,063} \cdot (y_a^{0,27} \cdot (\delta - 1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05})^2 \cdot H_{Ij} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Ii} \cdot k_i / l_{ij}^\mu)}}{\sum_{X=1}^R A_X \cdot V_{eX} \cdot q_X \cdot T_{нік}} \times \frac{\sum_{k=1}^s \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{2k}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{2k}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{2k}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{2k}}{\sum_{k=1}^s l_{2k}} = \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{Ij} \cdot k_j \cdot J_2 \cdot \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{2k}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{2k}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{2k}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Ii} \cdot k_i / l_{ij}^\mu) \cdot \sum_{m=1}^r J_{mk} \cdot \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{A_2 \cdot V_{e2} \cdot q_2 \cdot T_{нік}}, \quad (10)$$

– для X-го маршруту:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{Ж}^{0,063} \cdot (V_a^{0,27} \cdot (\delta - 1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05})^2 \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Пi} \cdot k_i / l_{ij}^\mu)} \cdot l_{ij}}{\sum_{X=1}^R A_X \cdot V_{eX} \cdot q_X \cdot T_{нік}} \times \\
 & \times \frac{\sum_{k=1}^s \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{Xk}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{Xk}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{Xk}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{Xk}}{\sum_{k=1}^s l_{Xk}} = \\
 & = \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot J_X \cdot \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{Xk}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{Xk}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{Xk}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Пi} \cdot k_i / l_{ij}^\mu) \cdot \sum_{m=1}^r J_{mk} \cdot \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{A_X \cdot V_{eX} \cdot q_X \cdot T_{нік}}, \tag{11}
 \end{aligned}$$

Відповідно на  $X$ -му маршруті кількість пасажиромісць –  $\omega_X$ , тоді рівняння (9) – (11) приймають вигляд:

– для першого маршруту:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{Ж}^{0,063} \cdot (V_a^{0,27} \cdot (\delta - 1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05})^2 \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Пi} \cdot k_i / l_{ij}^\mu)} \cdot l_{ij}}{\sum_{X=1}^R \omega_X \cdot V_{eX} \cdot T_{нік}} \times \\
 & \times \frac{\sum_{k=1}^s \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{1k}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{1k}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{1k}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{1k}}{\sum_{k=1}^s l_{1k}} = \\
 & = \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot \frac{\omega_1}{q_1 \cdot t_{o\sigma 1}} \cdot \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{1k}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{1k}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{1k}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Пi} \cdot k_i / l_{ij}^\mu) \cdot \sum_{m=1}^r \frac{\omega_{mk}}{q_{mk} \cdot t_{o\sigma mk}} \cdot \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{\omega_1 \cdot V_{e1} \cdot T_{нік}}, \tag{12}
 \end{aligned}$$

– для другого маршруту:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{Ж}^{0,063} \cdot \left( \gamma_a^{0,27} \cdot (\delta - 1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05} \right)^2 \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Пi} \cdot k_i / l_{ij}^\mu)}}{\sum_{X=1}^R \omega_X \cdot V_{eX} \cdot T_{ник}} \times$$

$$\frac{\sum_{k=1}^s \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{2k}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{2k}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{2k}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{2k}}{\sum_{k=1}^s l_{2k}} = \tag{13}$$

$$= \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot \frac{\omega_2}{q_2 \cdot t_{об2}} \cdot \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{2k}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{2k}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{2k}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Пi} \cdot k_i / l_{ij}^\mu) \cdot \sum_{m=1}^r \sum_{m=1}^r \frac{\omega_{mk}}{q_{mk} \cdot t_{обmk}} \cdot \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{\omega_2 \cdot V_{e2} \cdot T_{ник}},$$

– для  $X$ -го маршруту:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{Ж}^{0,063} \cdot \left( \gamma_a^{0,27} \cdot (\delta - 1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05} \right)^2 \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Пi} \cdot k_i / l_{ij}^\mu)}}{\sum_{X=1}^R \omega_X \cdot V_{eX} \cdot T_{ник}} \times$$

$$\frac{\sum_{k=1}^s \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{Xk}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{Xk}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{Xk}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{Xk}}{\sum_{k=1}^s l_{Xk}} = \tag{14}$$

$$= \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot \frac{\omega_X}{q_X \cdot t_{обX}} \cdot \left( \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{Xk}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{Xk}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{Xk}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Пi} \cdot k_i / l_{ij}^\mu) \cdot \sum_{m=1}^r \sum_{m=1}^r \frac{\omega_{mk}}{q_{mk} \cdot t_{обmk}} \cdot \left( \frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left( \frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left( \frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{\omega_X \cdot V_{eX} \cdot T_{ник}},$$

Визначивши місткість транспортних засобів ( $q_X$ ) на  $X$ -му маршруті, можна визначити і їхню кількість ( $A_X$ ):

$$A_X = \frac{\omega_X}{q_X}, \tag{15}$$

або

$$A_X = \frac{t_{обX}}{I_X^e}, \tag{16}$$

де  $I_X^e$  – обраний інтервал руху транспортних засобів на  $X$ -му маршруті, год.

У результаті моделювання зміни загальної кількості пасажиромісць транспортних засобів залежно від показника ступеня функції тяжіння є поступове зменшення всіх місткостей загальної структури парку транспортних засобів (рис. 1).



Рисунок 1 – Динаміка зміни загальної кількості пасажиромісць для різних місткостей транспортних засобів залежно від показника ступеня функції тяжіння:

–  $q_n = 19$  пас.
  –  $q_n = 45$  пас.;
  –  $q_n = 70$  пас.;
  –  $q_n = 110$  пас.
  –  $q_n = 180$  пас.

Для відображення змін у структурі парку транспортних засобів залежно від місткості було визначено відсоткове співвідношення від загальної кількості пасажиромісць (рис. 2). Де видно, що із зміною показника ступеня функції тяжіння відбувається перерозподіл транспортних засобів великої місткості на транспортні засоби малої та середньої місткості.



Рисунок 2 – Розподіл загальної кількості пасажиромісць для різних місткостей транспортних засобів залежно від показника ступеня функції тяжіння:

–  $q_n = 19$  пас.
  –  $q_n = 45$  пас.;
  –  $q_n = 70$  пас.;
  –  $q_n = 110$  пас.;
  –  $q_n = 180$  пас.

Аналізуючи наведені вище графіки (рис. 1, 2) та зміну загальної кількості пасажиромісць (рис. 3) залежно від показника ступеня функції тяжіння, бачимо, що остання має тенденцію до зниження на 32,9 %.

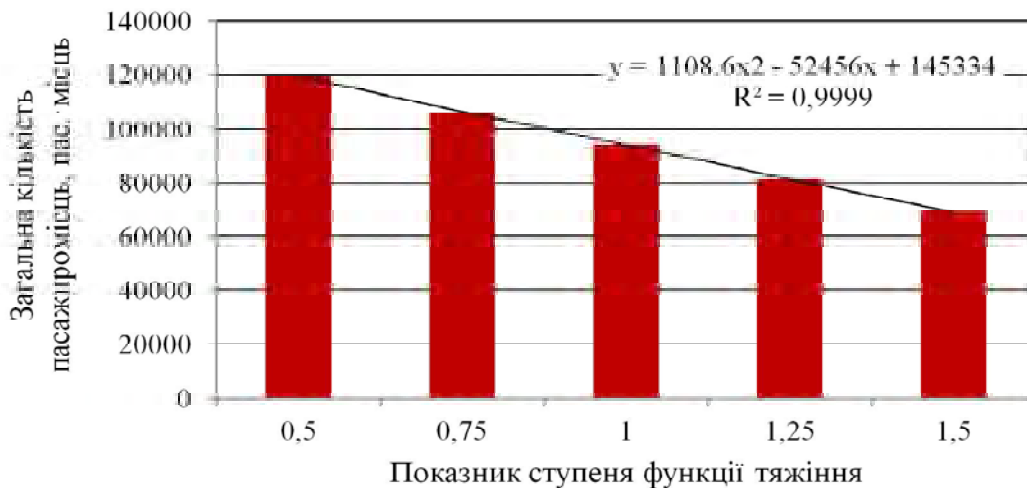


Рисунок 3 – Графік зміни загальної кількості пасажиромісць залежно від показника ступеня функції тяжіння

Відповідно залежність зміни загальної кількості пасажиромісць від показника ступеня функції тяжіння описується поліноміальною моделлю 2-го ступеня та має коефіцієнт кореляції  $R = -0,9999$ . А модель має наступний вигляд:

$$\omega = 1108,6 \cdot \mu^2 - 52456 \cdot \mu + 145334. \quad (17)$$

У подальшому було досліджено розподіл парку транспортних засобів залежно від місткості й отримано математичні моделі, що описують отримані закономірності. Так, залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 19 пас.) від показника ступеня функції тяжіння не можливо описати, так як мала кількість експериментальних даних. При цьому можливий варіант аналітичного розрахунку наступним чином:

$$\omega_{q_n=19} = \omega - \omega_{q_n=45} - \omega_{q_n=70} - \omega_{q_n=110} - \omega_{q_n=180}. \quad (18)$$

Натомість залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 45 пас.) від показника ступеня функції тяжіння описується поліноміальною моделлю 2-го ступеня та має коефіцієнт кореляції  $R = 0,725$ . А математична модель має наступний вигляд:

$$\omega_{q_n=45} = 5657,1 \cdot \mu^2 - 9478,3 \cdot \mu + 5841. \quad (19)$$

Найменш закономірною є залежність зміни кількості пасажиромісць для номінальної місткості 70 пасажирів залежно від показника ступеня функції тяжіння, тому що має значення коефіцієнта детермінації  $R = -0,282$ . Це пояснюється змінами величини пасажиропотоків на маршрутах, які мають перехідний характер. Тому, залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 70 пас.) від показника ступеня функції тяжіння також описується поліноміальною моделлю 2-го ступеня та має наступний вигляд математичної моделі:

$$\omega_{q_n=70} = -10320 \cdot \mu^2 + 19324 \cdot \mu + 8792. \quad (20)$$

Залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 110 пас.) від показника ступеня функції тяжіння має закономірний характер та описується поліноміальною моделлю 2-го ступеня та має коефіцієнт кореляції  $R = -0,944$ . Математичний вигляд моделі наступний:

$$\omega_{q_n=110} = -31680 \cdot \mu^2 + 26488 \cdot \mu + 75284. \quad (21)$$

Високий зв'язок між зміною кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 180 пас.) і показником ступеня функції тяжіння, на що вказує значення коефіцієнта кореляції  $R = -0,738$ . Математично дана залежність описується поліноміальною моделлю 2-го ступеня та має наступний вигляд:

$$\omega_{q_n=180} = 37234 \cdot \mu^2 - 88797 \cdot \mu + 55512. \quad (22)$$

Таким чином, проведена статистична обробка результатів моделювання змін показників функціонування пасажирських транспортних систем залежно від показника ступеня функції тяжіння, дозволила отримати адекватні закономірності, які можна використовувати у практичних розрахунках.

**Висновки.** Дослідження закономірностей функціонування МПТ свідчить про різноманітність пасажиромісткості транспортних засобів, які, у свою чергу, здебільш мають бути від 180 до 19 пасажирів у транспортному засобі.

Проведені дослідження дозволили встановити, що зі збільшенням значення показника ступеня функції тяжіння зменшується загальна кількість пасажиромісць. При цьому відбувається перерозподіл транспортних засобів великої місткості від 73,3 % до 64,9 % на транспортні засоби малої та середньої місткості від 20,6 % до 30,2 %.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками / И. В. Спирин. – М. : Академия, 2003. – 400 с.
2. Rao D. P. Urban passenger transportation / D. P. Rao, K. S. Murthy. – Inter-India Publications, 1997. – 416 p.
3. Доля В. К. Пасажирські перевезення / В. К. Доля. – Х. : Вид-во «Форт», 2011. – 507 с.
4. David Hensher. Bus Transport: Economics, Policy and Planning / David Hensher. – Amsterdam : Elsevier, 2007. – 538 p.
5. Hutchinson B. G. Principles of urban transport systems planning / B. G. Hutchinson. – N. Y. : McGraw-Hill, 1974. – 444 p.
6. Murray A. Strategic analysis of public transport coverage / A. Murray // Socio-economic planning sciences. – 2001. – № 35. – P. 175–188.
7. Stewart N. F. The Gravity Model in Transportation Analysis: Theory and Extensions / N. F. Stewart – N.Y. : Fifth Street, 1990. – 226 p.
8. Simpson B. J. Urban public transport today / B. J. Simpson. – E&FN Spon, 2003. – 222 p.
9. Iles R. Public Transport in Developing Countries / R. Iles. – Elsevier, 2005. – 478 p.
10. Логистика: Общественный пассажирский транспорт / [под ред. Л. Б. Миротина]. – М. : Экзамен, 2003. – 224 с.
11. Ігнатенко О. С. Організація автобусних перевезень у містах / О. С. Ігнатенко, В. С. Маруніч. – К. : УТУ, 1998. – 196 с.

### REFERENCES

1. Spirin, I. (2003). *Organization and management of passenger road transport*. Moscow: Academy, 400.
2. Rao, D. P., Murthy, K. S. (1997). *Urban passenger transportation*. Inter-India Publications, 416.
3. Dolya, V. (2011). *Passenger traffic*. Kharkiv: Publisher «Fort», 507.
4. Hensher, D. (2007). *Bus Transport: Economics, Policy and Planning*. Elsevier, 538.



5. Hutchinson, B. G. (1974). *Principles of urban transport systems planning*. McGraw-Hill, 444.
6. Murray, A. (2001). Strategic analysis of public transport coverage. *Socio-economic planning sciences*, № 35, 175-188.
7. Stewart, N. F. (1990). *The Gravity Model in Transportation Analysis: Theory and Extensions*. Fifth Street, 226.
8. Simpson, B. J. (2003). *Urban public transport today*. E&FN Spon, 222.
9. Ples, R. (2005). *Public Transport in Developing Countries*. Elsevier, 478.
10. ed. Mirotin, L. (2003). *Logistics: public passenger transport*. Moscow: Exam, 224.
11. Ignatenko, A., Maruny`ch, V. (1998). *Organization of bus transportation in cities*. Kyiv: UTU, 196.

**Иванов И. Е. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИИ ТЯГОТЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КОЛИЧЕСТВА ПАССАЖИРОМЕСТ**

*В статье рассматривается учет изменения функции тяготения на распределение общего количества пассажиромест. Разработана модель совместного функционирования маршрутов городского пассажирского транспорта. В результате математического моделирования определены изменения общего количества пассажиромест для различных емкостей транспортных средств и их процентное соотношение, а также получены закономерности изменения количества пассажиромест (для разных номинальных емкостей) в зависимости от функции тяготения.*

**Ключевые слова:** маршрутная сеть, транспортная работа, подвижность, номинальная вместимость.

**Ivanov I. E. DETERMINATION OF THE INFLUENCE ON THE FUNCTIONS OF GRAVITY INDICATORS QUANTITY PASSENGER SEATS**

*Problem sustainable distribution of traffic between modes of passenger transport is not possible, by selecting each passenger's own way of moving. The article discusses the accounting change on the distribution function of gravity the total number of passenger seats. The model of co-operation of urban passenger transport routes. As a result of mathematical modeling the changes in the total number of passenger seats for the various tanks for vehicles and their percentage, as well as patterns of change in number of received passenger seats (for different rated capacity) depending on the gravity function. Developed regression models determine the number of passenger seats (for different rated capacity) depending on the gravity matching function adequately.*

**Keywords:** route network, transport operation, mobility, nominal capacity.

© Иванов И. Е.

Статтю прийнято  
до редакції 06.05.16