
Методи рішення задач з організації пасажирських перевезень автомобільним транспортом

Олена Доля

кафедра інформаційних управляючих систем, Харківський національний університет
радіоелектроніки, Харків, Україна
ORCID 0000-0002-0364-988X

Костянтин Доля

кафедра автомобілів та транспортної інфраструктури, Національний аерокосмічний
університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", Харків, Україна
ORCID 0000-0002-4693-9158

Для цитування цієї статті:

Доля Олена, Доля Костянтин. Методи рішення задач з організації пасажирських перевезень
автомобільним транспортом. International Science Journal of Engineering & Agriculture Vol. 2,
No. 3, 2023, pp. 101-119. doi:10.46299/j.isjea.20230203.10.

Надійшла до редакції: 20 травня 2023 р.; **Схвалено:** 25 травня 2023 р.;

Опубліковано: 01 червня 2023 р.

Анотація: Одним із напрямів обслуговування населення є надання пасажирам якісних та своєчасних послуг з перевезення. Організація пасажирських перевезень автомобільним транспортом – це комплекс заходів, метою яких є створення умов сприятливого пересування населення. Від правильної організації роботи міського громадського пасажирського транспорту залежить соціальний розвиток місцевості. Створення універсальної структури системи управління перевізниками різних форм власності є важливим малих міст та селищ міського типу, так як більшість населення у таких містах користуються громадським транспортом. Невпинно зростаюча мобільність населення у світі, переформатування управлінських зв'язків між різними галузями суспільного виробництва пред'являють підвищені вимоги щодо побудови маршрутних систем, та до якості планування та управління ними. В цих умовах, як показує зарубіжний досвід, найважливішим напрямком ефективності функціонування систем пасажирського транспорту є науково-технічне обґрунтування їх оптимальної побудови. Комплексно розглянемо перелік проблем раціональної побудови маршрутних систем, а саме: методи збору і обробки інформації про пасажиропотоки, моделювання системи пасажирського транспорту міст, а також методи, моделі і програмне забезпечення маршрутизації перевезень пасажирів.

Ключові слова: організація пасажирських перевезень, автомобільний транспорт, пересування населення, обслуговування населення, міський транспорт, управлінські зв'язки, зарубіжний досвід, побудова маршрутних систем, пасажиропотік, маршрутизація перевезень.

1. Вступ

Необхідно розглянути аналіз методів збору та обробки інформації про пасажиропотоки. Аналіз організації пасажирських перевезень автомобільним транспортом, пов'язаний з раціональною побудовою маршрутних систем в містах, ускладнено тим, що сьогодні майже не проводиться систематичне вивчення пасажиропотоків. Пасажиропотоки змінюються за своєю структурою в часі та в просторі, за спрямуванням та інтенсивністю зростання,

утворюючи відповідні стійкі пікові спади за годинами доби, днями тижня та сезонами року. Тому одним з найважливіших питань організації перевезень пасажирським транспортом в містах є моделювання пасажиропотоків, з метою коригування діючих мереж маршрутів і більш повного задоволення попиту населення на перевезення, ефективного використання транспорту, що і складає основу побудови маршрутних систем міст.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження служить організація пасажирських перевезень автомобільним транспортом. Предметом дослідження є методи рішення задач з організації пасажирських перевезень автомобільним транспортом для сприйняття якості пасажирських перевезень, як особливості надання транспортних послуг.

3. Мета та задачі дослідження

Метою статті є огляд властивостей транспортного процесу та системи перевезень пасажирів, що обумовлюють задоволення потреб населення в перевезеннях згідно встановлених нормативних вимог. За управлінням якістю транспортного обслуговування, вирішуються наступні задачі: обґрунтування переліку показників якості та встановлення нормативів; оцінювання рівня якості за кожним показником; розробка та реалізація заходів щодо вирішення задач з організації пасажирських перевезень автомобільним транспортом.

4. Аналіз літератури

У статті було розглянуто роботу авторів Xiao, Y., Wang, F., Liu, Y., & Wang, J. щодо визначення параметрів елементів системи перевезень пасажирів, які є актуальними для автомобільного транспорту. Також у статті Liu, H., Xu, Y., Stockwell, N., Rodgers, M. O., & Guensler, R. було розглянуто баланс між споживанням енергії та пасажиромісткістю для автомобілів, автобусів, швидкісних поїздів та літаків. Одночасно авторами цієї статті розроблено метод визначення споживання енергії для мінімально можливої ваги реального автомобіля. Авторами Zheng, J., Lin, J., Allwood, J. M., & Dean, T. запропоновано підхід до визначення попиту на такі перевезення автомобільним транспортом. У статті авторів Wang, Z. Z., & Liu, X. Y. розглянуто використання рекурентних нейронних мереж було викладено в роботах.

5. Результати досліджень

Питання визначення параметрів елементів системи перевезень пасажирів є актуальним й для автомобільного транспорту. В роботах авторів [1-30] розглянуто питання споживання палива засобами транспорту при урахуванні виконаної транспортної роботи. Авторами [30] проаналізовано баланс між споживанням енергії та пасажиромісткістю для автомобілів, автобусів, швидкісних поїздів та літаків. Нормування даних з використанням кількості пасажирів надало авторам можливість рівномірно порівняти ці види транспорту. На основі цього аналізу запропоновано унікальний індекс маси автомобіля I , який авторам надав можливість глобальної оцінки енергоефективності всіх типів транспортних засобів. Авторами представлена загальна вага транспортного засобу на одного перевезеного пасажирів та нормована енергія (тобто енергія, що використовується для перевезення пасажирів на 1 км) для автобуса, автомобіля, літака та швидкісного поїзда. Загальна маса транспортного засобу на одного пасажирів авторами визначено відповідно до запропонованої залежності 1:

$$W_{tv} / (\alpha N) = \frac{W_c + \alpha N \cdot W_p}{\alpha N} \quad (1)$$

де W_{tv} – загальна маса транспортного засобу, включаючи масу спорядженого транспортного засобу;

W_c – загальна вага пасажирів;

W_{tp} – загальна вага пасажирів є добутком середньої ваги пасажирів;

W_p , – номер пасажирів, що перевозяться;

αN – де α – середній рівень завантаженості транспортного засобу;

N – розрахована місткість сидінь.

Нормована енергія – E_n в роботі [30] визначається відповідно до рівняння 2:

$$E_n = \frac{E_t}{\alpha N} \quad (2)$$

де E_t – загальна витрата енергії транспортним засобом на проїзд 1 км;

αN – кількість перевезених пасажирів.

Нормалізована енергія (E_n) в [30] для шести видів транспорту за середнього рівня зайнятості місць – α , тобто $\alpha = 1, 1, 0,68, 0,32, 0,72$ і $0,44$ для пішохідних, велосипедних, автобусних і автобусних, автомобілів, літаків і швидкісних поїздів відповідно. Зазначено, що споживання енергії пов'язане із загальною вагою автомобіля [30], споживання енергії визначається як функція загальної ваги транспортного засобу, загальної місткості сидінь та рівня зайнятості, які є трьома легко вимірними ключовими характеристиками на основі конструкції та використання автомобіля.

Нормована вага – R , яка визначається як відношення загальної маси автомобіля W_{tv} , поділена на загальну вагу пасажирів – W_{tp} описано рівнянням 3:

$$R = \frac{W_{tv}}{W_{tp}} = \frac{W_c + \alpha N \cdot W_p}{\alpha N \cdot W_p} \quad (3)$$

де $\alpha = 1$ означає стан повністю заповненого засобу транспорту.

Одночасно авторами [30] розроблено метод визначення споживання енергії для мінімально можливої ваги реального автомобіля.

Автомобільні пасажирські перевезення передбачають можливість користування пасажирами й послугами таксі, як таким, що є загальним видом транспорту й також приймають участь в реалізації потреб громадян з переміщення. Авторами [31] запропоновано підхід до визначення попиту на такі перевезення автомобільним транспортом. Запропонована математична модель викладена у рівнянні 4:

$$W = (R_1 A_1 + R_2 A_2) P \quad (4)$$

де W – попит міських жителів на проїзд таксі;

R_1 – загальне постійне населення міста;

R_2 – загальне міське плавуче населення;

A_1 – кількість поїздок в день постійного населення;

A_2 – кількість поїздок за день плавання населення;

P – частку таксі в структурі шляху подорожі.

Формула для розрахунку добового пасажиропотоку M без сполучення автомобілів авторами [31] визначено, як 5:

$$M = N\bar{n}_0 z = N\bar{n}_0 \frac{\sum_{i=1}^m (n_{i1} + n_{i2} + \dots + n_{i10})}{10m} \quad (5)$$

де \bar{n}_0 означає щоденну сукупну кількість пасажирів;

$n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{i10}$ означає номери пасажирів кожного таксі групи i .

Для розрахунку добового пасажиропотоку M з автопарком авторами [31] надано у вигляді б):

$$M = N\bar{n}_0 z(1 + p) = N\bar{n}_0(1 + p) \frac{\sum_{i=1}^m n_{i1} + n_{i2} + \dots + n_{i10})}{10m} \quad (6)$$

Відповідно до проведених авторами досліджень й запропонованого моделювання зазначених параметрів пасажиропотоків можна стверджувати про можливість використання описаних підходів до моделювання параметрів пасажиропотоків в певному способі сполучення.

Використання рекурентних нейронних мереж було викладено в роботах [32-33]. Запровадження даного методу математичного моделювання надало можливість авторам [33] висунути припущення з моделювання кількісних параметрів потоку пасажирів в часі у вигляді динамічного числа Y_t , де $t \in [0; T]$ і наведене у функції 7:

$$Y_t = U_t + V_t + E_t + Z_t + \gamma_t \quad (7)$$

де U_t – тенденція динамічного ряду, закономірна складова, що характеризує загальну тенденцію;

V_t – сезонна складова, у загальному випадку – циклічна;

E_t є випадковою складовою;

Z_t є компонентом, що забезпечує паралельність елементів динамічного ряду;

γ_t є керуючим компонентом, за допомогою якого відбувається вплив на члени ряду, щоб сформувати його бажану траєкторію в майбутньому.

Модель нейронної мережі, яка була розроблена в [33] для прогнозування пасажиропотоків, включає штучні нейронні мережі. На думку авторів, кількість нейронних мереж відповідає прогнозованому рівню пасажиропотоку, а дані часових рядів мають великий обсяг, високорозмірні та постійно оновлюються, що висвітлено рівнянням 8:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (8)$$

У [33] використано метод зворотного поширення та враховано помилку навчання у вибірці як суму квадратних вхідних одиниць і різницю між бажаним вихідним значенням t_k дається вчителем і фактичний вихід z_k , що висвітлено рівнянням 9:

$$J(w) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^c (t_k - z_k)^2 = \frac{1}{2} \|t - z\|^2 \quad (9)$$

де t і z – цільовий та мережевий вихідні вектори з довжинами c і w , який попередньо визначив усі масштаби в мережі.

Із урахуванням правила навчання зворотного поширення масштаби не ініційовано випадковими значеннями, бо потім вони змінюються в напрямку, який зменшить похибку, чим обумовлено вираз 10:

$$\Delta w = -\eta \frac{\partial J}{\partial w} \quad (10)$$

де η – швидкість навчання, що вказує на відносну величину змін у масштабах.

Однак, цей повторюваний алгоритм вимагає прийняття вагового вектору на ітерації оновивши його відповідно до 11:

$$w(m+1) = w(m) + \Delta w(m) \quad (11)$$

де m індексує часткову модель представлення.

Для вирішення задачі прогнозування пасажиропотоку ми обрали RNN, а саме довготривалу пам'ять (LSTM), оскільки вхідними даними для завдання є часовий ряд.

Обсяги пасажиропотоків запропоновано розраховувати в [34] із використанням моделі Грея-Маркова, яка є однією з моделей подібного прогнозування й широко застосовується в багатьох сферах. В [34] припущено, що $x^{(0)} = \{x^{(0)}(t) | t = 1, 2, \dots, n\}$ являє собою набір вихідних системних даних. Відповідне диференціальне рівняння моделі Грея-Маркова наведено у 12:

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + \partial x^{(1)}(t) = \mu \quad (12)$$

де ∂, μ є невизначеними параметрами, на число сірого розробки та сіре число внутрішнього контролю відповідно, які можна отримати методом найменших квадратів.

Це дозволяє авторам [34] впровадити рівняння 13 та 14:

$$X = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \partial \\ \mu \end{bmatrix} \quad (14)$$

За $Y = XB$, визначено, що $B = (X^T X)^{-1} (X^T Y)$. Заміна, ∂, μ в (12) і розв'яжіть це диференціальне рівняння, щоб отримати моделі Грея-Маркова у вигляді 15:

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{\mu}{\partial})e^{-\partial t} + \frac{\mu}{\partial} \quad (15)$$

Авторами [34] застосовано операцію оберненого накопичення до 16:

$$\hat{x}^{(0)}(t) = \hat{x}^{(1)}(t+1) - \hat{x}^{(1)}(t) \quad (16)$$

Відповідно до моделювання даних про кількість пасажирських перевезень із використанням моделі Грея-Маркова дозволило авторам поділити всю послідовність на три статуси: статус завищеної оцінки (прогнозне значення вище, ніж фактичне значення); нормальний стан (прогнозне значення знаходиться в межах дійсного значення); недооцінений статус (прогнозне значення нижче за фактичне значення).

Дослідження моделі вибору режиму поїздки міжміських пасажирів на основі методу кластерного аналізу викладено в роботі [35] Авторами «корисність» для штучного вимірювання деяких більш важливих змінних, які можуть описати характеристики варіантів і виразити характеристики впливу на рух мандрівників. Усі вищезгадані характеристики авторами названо «характерними змінними».

Перші чинники, на думку авторів, зазвичай є час і вартість подорожі, комфорт і безпеку тощо; у той час як останній включає вік мандрівника, рід занять, дохід тощо. І ще є ціль подорожі, час подорожі та інші характеристики подорожі. Функція корисності виглядає як 17:

$$V_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_n x_{in} \quad (17)$$

де: V_i є корисністю режиму подорожі;

$i, \beta_0, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_n$ є невизначеними параметрами;

$x_{i1}, x_{i2}, x_{i3} \dots x_{in}$ є показниками характерних змінних відповідно.

Авторами роботи використано метод кластерного аналізу, класифікації пасажирів через аналіз характеристик міжміських пасажирів прийнято мету подорожі та місячний дохід міжміських пасажирів. На основі методу кластерного аналізу авторами запропоновано лінійну функцію корисності щодо часу та вартості подорожі, комфорту та безпеки 18:

$$V_{ig} = \alpha_{0g} + \alpha_{1g} T_i + \alpha_{2g} C_i + \alpha_{3g} S_i + \alpha_{4g} A_i \quad (18)$$

де: V_{ig} є функцією корисності певного класу туристів;

g пасажир, які обирають шлях i ;

T_i це час у дорозі;

C_i це вартість проїзду в дорозі;

S_i це комфорт шляху i ;

A_i це безпека шляху i ;

$\alpha_{0g}, \alpha_{1g}, \alpha_{2g}, \alpha_{3g}, \alpha_{4g}$ є невизначеними параметрами, часу і вартості в дорозі.

На думку авторів, з точки зору всього процесу подорожі міжміських пасажирів, поїздка поділяється на дві частини, міську та міжміську. Таким чином, загальний час у дорозі міжміських пасажирів є сумою часу в дорозі міста відправлення та призначення, а саме:

$$T_i = t_{i1} + t_{i2} + t_{i3} \quad (19)$$

де: T_i – загальний час у дорозі i ;

t_{i1} – час у дорозі в місті I ;

t_{i2} – час у дорозі 2;

t_{i3} – час у дорозі між містами i .

Аналогічно, авторами [35] загальна вартість проїзду міжміських пасажирів є сумою вартості проїзду в містах відправлення та призначення та вартості проїзду між містами, як визначено рівнянням 20:

$$F_i = f_{i1} + f_{i2} \quad (20)$$

де: F_i – загальна вартість проїзду в дорозі i ;

f_{i1} це міська вартість подорожі i ;

f_{i2} це вартість міжміського проїзду i .

Функція корисності в [35] після аналізу часу поїздки, вартості, комфорту та безпеки наведено в моделі Logit 21:

$$V_{ig} = \alpha_{0g} + \alpha_{1g}(t_{i1} + t_{i2} + t_{i3}) + \alpha_{2g}(f_{i1} + f_{i2}) + \alpha_{3g}S_i + \alpha_{4g}A_i \quad (21)$$

Припущено [35], що кількість пасажирів є N та воно поділяється на класи G , i номер класу $g \in N_g$, а потім ймовірність класу g мандрівники обирають шлях i є, як слід ймовірність набуває вигляд наведений у 22:

$$P_{ig} = \frac{\exp(V_{ig})}{\sum_C \exp(V_{jg})} \quad (22)$$

де: C це сукупність усіх альтернативних видів транспорту.

Ймовірність шляху i в [35] авторами запропоновано у вигляді функції 23:

$$P_i = \sum_{g=1}^G \frac{N_g}{N} P_{ig} \quad (23)$$

В [36] викладено дослідження, що має на меті оцінити вплив навантаження на пасажирів, ефективність поромних маршрутів для досягнення кращого обслуговування для пасажирів. Авторами [37] досліджено визначення параметрів пасажиропотоку при міжміських

пасажирських автобусних перевезеннях методом кластеризації траєкторії характерних точок для оцінки пасажиропотоку. Під час моделювання згенеровані траєкторії використано формулу (24) для обчислення точок ознак напрямку руху між сусідніми кадрами:

$$\theta_i = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}\right) & x_{i+1} - x_i \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}\right) - \pi & y_{i+1} - y_i \leq 0 \\ & \& x_{i+1} - x_i < 0 \\ \arctan\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}\right) + \pi & y_{i+1} - y_i > 0 \\ & \& x_{i+1} - x_i < 0 \end{cases} \quad (24)$$

де: $\Gamma = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ є координатна послідовність траєкторії;
 θ_i є кутом напрямку руху в i -му кадрі.

Траєкторії, створені одним і тим же пасажиром, мають дуже схожі тимчасові та просторові властивості. У [37] використано різницю в часі початку для вимірювання тимчасової подібності між траєкторіями. Для обчислення тимчасової різниці між траєкторіями T_i і T_j використано рівняння (25):

$$d_s(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{якщо } |T_s(i) - T_s(j)| < T_{\min} \\ \frac{|T_s(i) - T_s(j)| - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} & \text{якщо } T_{\min} \leq |T_s(i) - T_s(j)| \leq T_{\max} \\ 1 & \text{якщо } |T_s(i) - T_s(j)| > T_{\max} \end{cases} \quad (25)$$

де: $T_s(i)$ і $T_s(j)$ час початку (або номер кадру) траєкторії;
 T_i і T_j відповідно і $d_s(i, j)$ – тимчасова відстань між T_i і T_j .

Його значення знаходиться між 0 і 1. Тобто, якщо різниця часу початку між T_i і T_j менше ніж T_{\min} , тоді їх можна вважати двома траєкторіями від одного пасажирів; інакше, якщо інтервал більше ніж T_{\max} то вони з інших пасажирів.

Моделювання пасажиропотоку в частині визначення кількості пасажирів в салоні автобусу розкрито в роботах [37-41]. В [41] для прогнозування пасажиропотоку в автобусі пропонується підхід глибокого злиття з багатьма шаблонами. Набір даних короткострокового автобусного пасажиропотоку спочатку сегментується на різні кластери за допомогою алгоритму поширення спорідненості. Розподіл пасажиропотоку цих кластерів згодом аналізується для виявлення різних закономірностей. У кожному шаблоні [41] розроблено як глибоке представлення пасажиропотоку.

Для серії пасажиропотоку $x = [x_1, x_2, \dots, x_N]$ (N – довжина часового ряду), подібність кожної вибірки (x_i, x_j) ($i, j \in [1, N]$) встановлюється виразом 26:

$$s(i, j) = \begin{cases} -\|x_i - x_j\|^2 & i \neq j \\ p & i = j \end{cases} \quad (26)$$

де: p позначає параметри.

Авторами визначено відповідальність (27) і доступність (28) функціонують наступним чином:

$$r(i, j) = s(i, j) - \max_{j'/j} \{a(i, j') + s(i, j')\} \quad (27)$$

$$a(i, j) = \begin{cases} \min \left\{ 0, r(j, j) + \sum_{i' \neq i, j} \max \{0, r(i', j)\} \right\} & i \neq j \\ \sum_{i'/j} \max \{0, r(i', j)\} & i = j \end{cases} \quad (28)$$

Після кількох ітерацій (m), $r_m(i, j)$ і $a_m(i, j)$ представлено за допомогою рівняння 29:

$$\begin{cases} r_m(i, j) = (1 - \lambda)r_m(i, j) + \lambda r_{m-1}(i, j) \\ a_m(i, j) = (1 - \lambda)a_m(i, j) + \lambda a_{m-1}(i, j) \end{cases} \quad (29)$$

де $\lambda \in [0, 1]$ є коефіцієнтом демпфування.

Авторами [42] запропоновано нелінійну модель для прогнозування швидкості пасажиропотоку в транзитній системі та вказано її хаотичність. Основні кроки методу аналізу головних компонент узагальнено.

Одновимірний часовий ряд $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ задано, а інтервал часу вибірки дорівнює τ . Фазовий простір реконструйовано із вбудованим розміром d . Матриця траєкторій $X_{l \times d}$ ($l = N - (d - 1)$) який утворений часовим рядом задається виразом 30:

$$X_{l \times d} = \frac{1}{l^{\frac{1}{2}}} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_d \\ x_2 & x_3 & \dots & x_{d+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_l & x_{l+1} & \dots & x_N \end{bmatrix} \quad (30)$$

Далі варіаційна матриця A обчислюється відповідно до 31:

$$A_{d \times d} = \frac{1}{l} X_{l \times d}^T X_{l \times d} \quad (31)$$

Тоді власні значення λ_i ($i = 1, 2, \dots, d$) і власні вектори U_i ($i = 1, 2, \dots, d$) варіаційної матриці A працюють. Власні значення розташовані в порядку спадання: $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_d$, сума яких обчислюється як визначено в 32:

$$\gamma = \sum_{i=1}^d \lambda_i \quad (32)$$

Авторами [42] припущено, що індекс i формують X вісь і $\ln(\lambda_i/\gamma)$ формують Y вісь. Через значні відмінності між хаотичним сигналом і шумовим сигналом основний спектр компонентів шуму являє собою пряму лінію, паралельну X вісь. Однак основним спектром компонентів хаотичного сигналу є пряма лінія через фіксовану точку з негативним нахилом.

В роботі Xiao, R., Zhu, J., Zhao, Z., Yu, H., & Du, Y. (2021) [43] описано основні фактори, які впливають на пасажиропотік громадського транспорту, викладено простий та ефективний метод для точного прогнозування пасажиропотоку громадського транспорту, щоб забезпечити основу для розвитку автобусного транспорту. Чисельні показники по-різному впливають на пасажиропотік автобусів. Якщо ці показники використовувати як незалежні змінні для регресійного аналізу, то об'єктивність і точність це може вплинути на результати аналізу. Авторами зазначено, що такі показники необхідно виділити. Показники, які мають більший вплив на пасажиропотік автобусів (тобто основні фактори контролю), щоб підвищити точність прогнозування. Співвідношення між кожною характеристикою та пасажиропотоком автобуса оцінено за допомогою однофакторного аналізу, а для визначення кореляції використовувався коефіцієнт кореляції Пірсона. Формула запропонована авторами [43] виглядає відповідно до рівняння 33:

$$r_{XY} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (33)$$

де: r_{XY} коефіцієнт кореляції Пірсона змінні X і Y ;
 n - кількість спостережуваних об'єктів;
 x_i i -те спостережуване значення X ;
 y_i i -те спостережуване значення Y .

Відповідно до принципу статистики, коефіцієнт кореляції, як правило, становить від -1 до 1. Чим ближче абсолютне значення до 1, тим сильніше лінійний зв'язок між змінними, і чим ближче абсолютне значення до 0, тим слабше лінійний зв'язок між змінними. Відповідно до аналізу звернення встановлено модельне рівняння факторів впливу на функцію пасажиропотоку автобуса (34):

$$\hat{y} = A \prod_{i=1}^n x_i^{\beta_i} \quad (34)$$

де: \hat{y} – прогнозована величина пасажиропотоку автобуса;
 A і β_i параметри, які підлягають оцінці;
 x_i є імпаکت-фактором;
 n це кількість факторів.

Для вирішення задачі [43] використовується логарифмічна функція для перетворення мультиплікативного відношення. Після логарифмічної обробки вихідних даних для оцінки можна використовувати наступну модель лінійної регресії (35):

$$\ln \hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \ln(x_i) \quad (35)$$

У лінійній регресії запропонованій [43] мета полягає в тому, щоб вибрати параметри, які мінімізують суму квадратної помилки між прогнозованим і істинним значеннями. Щоб уникнути надмірної підгонки, до функції вартості додається термін регуляризації та параметр регуляризації λ , який використовується для збалансування функції вартості з терміном регуляризації.

Авторами [44] викладено підрахунок пасажиропотоку на основі технології обробки зображень. Враховуючи вимоги до реального часу та точності, використано метод, заснований на машинному навчанні, для виявлення та ідентифікації голови пішохода. Метод гамма-корекції прийнято для стандартизації колірнього простору вхідного зображення, щоб налаштувати контраст зображення, зменшити часткову тінь зображення і одночасно можна зменшити вплив зміни освітлення та перешкоди. Використання одновимірного дискретного диференціального шаблону в горизонтальному та вертикальному напрямках, щоб отримати амплітуду піксельного градієнта та напрямок градієнта.

Розрахунок градієнта визначено рівняннями 36 та 37:

$$G_x = H(x+1, y) - H(x-1, y) \quad (36)$$

$$G_y = H(x, y+1) - H(x, y-1) \quad (37)$$

де: G_x – горизонтальний градієнт положення (x, y) ;

G_y – вертикальний градієнт положення (x, y) ;

$H(x, y)$ – сіре значення позиції (x, y) .

Розрахунок амплітуди і напрямку градієнта визначено рівняннями 38 та 39:

$$G(x, y) = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2} \quad (38)$$

$$\alpha(x, y) = \arctan^{-1}\left(\frac{G_y(x, y)}{G_x(x, y)}\right) \quad (39)$$

де: $G(x, y)$ – амплітуда градієнта;

$\alpha(x, y)$ – напрямок градієнта.

Розраховані градієнтна величина та орієнтація кожної одиниці клітини та отримані характеристики осередку. Навчальна вибірка поділена на ряд одиниць клітинки. Розрахунок зваженої гістограми напрямку градієнта кожної клітинки. Діапазон напрямку градієнта 0-180 градусів.

Автор [45] винайшов багатосенсорний масив пасажиропотоку автобусу, відстежено вектор руху, що визначено як процес пошуку набору векторів руху між поточним кадром і опорним кадром у певному діапазоні передбачення за допомогою певної стратегії пошуку, отримання єдиного векторного рішення поточного вектору руху, набору відповідно до подібності векторів руху. Критерії, зважування векторного рішення і вектора руху об'єкта стеження, відстеження та опису руху цілі через вектор руху.

Подібність вектора руху може описана [45] функцією подібності косинуса. Його формула показана рівнянням 40:

$$S(X, Y) = (X^T Y) / (\|X\| * \|Y\|) \quad (40)$$

Встановіть цільову функцію векторної моделі руху, як 41 або 42:

$$d(x, y) = (x' - x, y' - y) \quad (41)$$

$$d(x, y) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x'_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y'_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n y_i \right) \quad (42)$$

де: m – кількість частинок у контурах напруження стопи поточних даних кадру;
 n – число частино у контурах напруження стопи даних системи відліку;
 M_i це якість частинки i ;
 (x, y) є координатами центр мас контуру напруження стопи в поточному кадрі;
 (x', y') – координати центру мас стопи контур напруги в системі відліку;
 (x_i, y_i) це два-розмірні координати частинки i .

В [46] пропонується метод на основі нейронної мережі для прогнозування майбутніх пасажиропотоків відправлення терміналу на наступний період. Роботи [47-56] визначають моделювання щоденного пасажиропотоку автобусів під час епідемії чи пандемії методом великої кількості даних часових рядів.

В [57] представлено аналіз нейронних мереж, які можна використовувати для прогнозування пасажиропотоку між містами. Дані про кількість пасажирів через регулярні проміжки часу виражено у вигляді динамічного числа Y_t , де $t \in [0, T]$ і представлено в адитивній формі 43:

$$Y_t = U_t + V_t + E_t + Z_t + \gamma_t \quad (43)$$

де U_t – тенденція динамічного ряду, закономірна складова, що характеризує загальну тенденцію;

V_t – сезонна складова, у загальному випадку – циклічна;

E_t є випадковою складовою;

Z_t є компонентом, що забезпечує паралельність елементів динамічного ряду;

γ_t є керуючим компонентом, за допомогою якого відбувається вплив на члени ряду, щоб сформувати його бажану траєкторію в майбутньому.

В якості функції активації в даному випадку використовується проста різницева нелінійна логістична функція Овна 44:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (44)$$

В [58] представлено одне рішення щодо ліній прибуття та відправлення спеціальних ліній пасажирського руху, а в [59] статистика пасажиропотоку на основі відеозображень.

В [60] описано методику проведення дослідження пасажиропотоку. Для оцінки можливого пасажиропотоку при проектуванні міста використано гравітаційні та ентропійні

методи. Принцип першого способу полягає в наступному. Міська територія поділена на n мікрорайонів, кожен з яких має вихідний і кінцевий вузли. Залежно від обсягу місць залучення: місця проживання, зайнятості, культурно-побутових центрів, торгових центрів та інших місць, для кожного мікрорайону визначається кількість пасажирів. Метод полягає в моделюванні пасажиропотоків між кожною парою мікрорайонів. Потік транспорту можна визначено за таким рівнянням 45:

$$x_{ij} = a_i \cdot b_j \cdot y_{ij} \quad (45)$$

$$\begin{cases} x_{ij} \geq 0, \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} = a_i, \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j. \end{cases}$$

де a_i є кількість пасажирів, що виїжджають з мікрорайону, пасажирів;

b_j є кількість пасажирів, що прибувають у мікрорайон, пасажирів;

m – кількість областей тяжіння, що характеризуються відповідно вихідними вузлами i і вузлами призначення j , шт.;

y_{ij} є функцією переваги пасажирів.

Функції переваги можуть мати такий вигляд:

$$y_{ij} = t_{ij}^{-k}$$

$$y_{ij} = e^{-k \cdot t_{ij}}$$

$$y_{ij} = k \cdot t_{ij}^{-2}$$

де k – постійне значення, визначене на основі фактичних даних;

t_{ij} – узагальнена вартість перевезень між районами i та j (час, витрачений на поїзду, відстань тощо).

Через невизначеність вибору пріоритетів, зробленого пасажиром за допомогою гравітаційного методу, було застосовано ентропійний метод. Узагальнена модель інформаційної ентропії має такий вигляд 46:

$$H(x) = \sum_i^j x_{ij} \cdot \ln_{x_{ij}}^{a_i} \quad (46)$$

Цей метод характеризує неспадна ентропію замкнутої системи, визначаючи екстремум. Для розв'язання задачі використовується метод Лагранжа. Результатом розв'язування рівняння (47) є рівняння такого вигляду:

$$x_{ij} = a_i \cdot b_j \cdot e^{-k \cdot t_{ij}} \quad (47)$$

Ці моделі досить ефективні на етапах проектування міських маршрутних мереж. Загальна кількість пасажирів, що їдуть у транспортному засобі від пункту i в пункт j залежить від

кількості пасажирів, які виходять з автомобіля в пункті призначення j і може бути описано такими рівняннями:

$$\lambda_{ij} \begin{cases} \frac{b_j - \min(b_j; (Q_{j-1} - a_{ij}))}{b_j}, a_{ij} \geq b_j \\ \frac{a_{ij} - \min(a_{ij}; (Q_{j-1} - b_j))}{a_{ij}}, a_{ij} \geq b \end{cases} \quad (48)$$

де a_{ij} – кількість пасажирів, що їдуть у транспортному засобі від пункту i в пункт j , пасажирів;

b_j – кількість пасажирів, які вийшли з транспортного засобу в пункті j , пасажирів;

Q_{j-1} – обсяг пасажиропотоку на підході до пункту j , пасажирів.

Розподіл ймовірностей випадкового значення λ_{ij} виглядає наступним чином 49:

$$P_{bj} = \frac{C_{a_{ij}}^{a_{ij}-\lambda_{ij}} \cdot C_{(Q_{j-1}-a_{ij})}^{b_j-\lambda_{ij}}}{C_{Q_{j-1}}^{b_j}} \quad (49)$$

де C – кількість комбінацій подорожей, представлених нижніми і верхніми індексами.

Найбільша ймовірність появи пасажирів у групі тих, хто вийшов з автобуса, серед тих, хто вийшов з нього на зупинці, а ij описано рівняннями 50:

$$\begin{cases} \frac{P_{bj}(\lambda_{ij} - 1)}{P_{bj}(\lambda_{ij})} = \frac{\lambda_{ij}(Q_{j-1} - a_{ij} - b_j + \lambda_{ij})}{(a_{ij} - \lambda_{ij} + 1) \cdot (b_j - \lambda_{ij} + 1)} \leq 1, \\ \frac{P_{bj}(\lambda_{ij})}{P_{bj}(\lambda_{ij} + 1)} = \frac{(\lambda_{ij} + 1) \cdot (Q_{j-1} - a_{ij} - b_j + \lambda_{ij} + 1)}{(a_{ij} - \lambda_{ij}) \cdot (b_j - \lambda_{ij})} \geq 1. \end{cases} \quad (50)$$

Розв'язуючи систему нерівностей (50) відносно λ_{ij} зі значеннями Q_{j-1} і b_j набагато більше за одиницю, математичне очікування λ_{ij} визначено як 51:

$$\lambda_{ij} = \frac{a_{ij} \cdot b_j}{Q_{j-1}} \quad (51)$$

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Заходи щодо перспективи організації пасажирських перевезень:

- 1) Обґрунтування типу, кількості рухомого складу
- 2) Розроблення заходів з оптимізації маршрутної системи
- 3) Підготовка вихідних даних для проведення конкурсу на перевезення пасажирів автомобільним транспортом

8. Висновки

В роботах авторами було використано наведено наступні методи рішення задач з організації пасажирських перевезень автомобільним транспортом:

1. моделювання пасажиропотоків та їхній вплив на систему пасажирських перевезень із використанням відомих методів;
2. використано метод нейронних мереж;
3. використано метод технологій машинного навчання;
4. використано метод збору та обробки даних;
5. використано метод проектування;
6. використано метод теорії ймовірностей і математичної статистики;
7. використано теорію гравітації;
8. використано теорію максимальної корисності;
9. використано географічні методи, такі як модель просторової взаємодії та модель доступності.

Список літератури:

- 1) Xiao, Y., Wang, F., Liu, Y., & Wang, J. (2013). Reconstructing gravitational attractions of major cities in china from air passenger flow data, 2001-2008: A particle swarm optimization approach. *Professional Geographer*, 65(2), 265-282. doi:10.1080/00330124.2012.679445
- 2) Chakamera, C., & Pisa, N. M. (2021). Relationship between air passenger transport, tourism and real gross domestic product in africa: A longitudinal mediation analysis. *African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure*, 10(4), 1200-1214. doi:10.46222/ajhtl.19770720-157
- 3) Banks, S. (1951). Relative severity of air line passenger complaints. *Journal of Applied Psychology*, 35(4), 260-264. doi:10.1037/h0061891
- 4) Lukyanov S. A., Ruzhanskaya L. S., Avramenko E. S., Stroev V. V. Restraints on competition in the Russian air passenger market. *St Petersburg University Journal of Economic Studies*, 2018, vol. 34, issue 1, pp. 134–148. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu05.2018.107>
- 5) Liu, X., & Xia, H. (2008). Reverse gravity model based on OD traffic flow of air passengers. *Xinan Jiaotong Daxue Xuebao/Journal of Southwest Jiaotong University*, 43(3), 409-414.
- 6) Xie, G., Wang, S., & Lai, K. K. (2014). Short-term forecasting of air passenger by using hybrid seasonal decomposition and least squares support vector regression approaches. *Journal of Air Transport Management*, 37, 20-26. doi:10.1016/j.jairtraman.2014.01.009
- 7) Hofer, C., Kali, R., & Mendez, F. (2018). Socio-economic mobility and air passenger demand in the U.S. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 112, 85-94. doi:10.1016/j.tra.2018.01.009
- 8) Margaretic, P., Thomas-Agnan, C., & Doucet, R. (2017). Spatial dependence in (origin-destination) air passenger flows. *Papers in Regional Science*, 96(2), 357-380. doi:10.1111/pirs.12189
- 9) Neretin, A. S. (2017). Spatial structure of air passenger transport in european russia. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk.Seriya Geograficheskaya*, (6), 19-38. doi:10.7868/S0373244417060032
- 10) Kim, K., Kim, V., & Kim, H. (2019). Spatiotemporal auto-regressive model for origin-destination air passenger flows. *Journal of the Royal Statistical Society.Series A: Statistics in Society*, 182(3), 1003-1016. doi:10.1111/rssa.12427
- 11) Zhang, X., & Hou, Z. (2010). Study on energy conservation schemes of air-conditioned passenger train based on sustainable development strategy. Paper presented at the 2010 International Conference on Logistics Engineering and Intelligent Transportation Systems, LEITS2010 - Proceedings, 336-339. doi:10.1109/LEITS.2010.5664963
- 12) Yan, K. -. (2009). Study on the forecast of air passenger flow based on SVM regression algorithm. Paper presented at the Proceedings - 2009 1st International Workshop on Database Technology and Applications, DBTA 2009, 325-328. doi:10.1109/DBTA.2009.33

- 13) Baikgaki, O. A., & Daw, O. D. (2013). The determinants of domestic air passenger demand in the republic of south africa. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 4(13), 389-396. doi:10.5901/mjss.2013.v4n13p389
- 14) Muweis, J., & Łamasz, B. (2019). The development of the aviation fuel market in poland and changes in civil passenger traffic. *Polityka Energetyczna*, 22(1), 153-168. doi:10.33223/epj/105527
- 15) Li, Y., Yang, B., & Cui, Q. (2019). The effects of high-speed rail on air passenger transport in china. *Applied Economics Letters*, 26(9), 745-749. doi:10.1080/13504851.2018.1494798
- 16) Zhang, F., Ning, Y., & Lou, X. (2021). The evolutionary mechanism of china's urban network from 1997 to 2015: An analysis of air passenger flows. *Cities*, 109. doi:10.1016/j.cities.2020.103005
- 17) Korkmaz, E., & Akgüngör, A. P. (2021). The forecasting of air transport passenger demands in turkey by using novel meta-heuristic algorithms. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 33(16) doi:10.1002/cpe.6263
- 18) Danchev, S., Paratsiokas, N., & Vettas, N. (2022). The impact of the concession of 14 regional greek airports on passenger traffic. *Journal of Industry, Competition and Trade*, 22(1), 51-67. doi:10.1007/s10842-021-00378-0
- 19) Al-Saad, S., Ababneh, A., & Alazaizeh, M. M. (2019). The influence of airport security procedures on the intention to re-travel. *European Journal of Tourism Research*, 23, 127-141.
- 20) Lee, H. -. (2009). The networkability of cities in the international air passenger flows 1992-2004. *Journal of Transport Geography*, 17(3), 166-175. doi:10.1016/j.jtrangeo.2008.07.011
- 21) Ida, Y. (1993). The pattern of air passenger flows in japan. *Geographical Review of Japan, Series B*, 66(1), 18-34. doi:10.4157/grj1984b.66.18
- 22) Correnti, V., Capri, S., Ignaccolo, M., & Inturri, G. (2007). The potential of rotorcraft for intercity passenger transport. *Journal of Air Transport Management*, 13(2), 53-60. doi:10.1016/j.jairtraman.2006.11.009
- 23) Burns, M. C., Roca Cladera, J., & Moix Bergada, M. (2008). The spatial implications of the functional proximity deriving from air passenger flows between european metropolitan urban regions. *GeoJournal*, 71(1), 37-52. doi:10.1007/s10708-008-9144-x
- 24) Li, H., Wang, H., Bai, M., & Duan, B. (2019). The structure and periodicity of the chinese air passenger network. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1) doi:10.3390/su11010054
- 25) Elwakil, O. S., Windle, R. J., & Dresner, M. E. (2013). Transborder demand leakage and the US-canadian air passenger market. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 57, 45-57. doi:10.1016/j.tre.2013.01.005
- 26) Xu, J., Qiu, R., Tao, Z., & Xie, H. (2018). Tripartite equilibrium strategy for a carbon tax setting problem in air passenger transport. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 8512-8531. doi:10.1007/s11356-017-1163-z
- 27) Valutyté, R. (2020). Striking a healthier balance between air passenger rights and air carriers' vital interests in the light of COVID-19. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 8(2), 546-558. doi:10.9770/jesi.2020.8.2(33)
- 28) Kuo, S. -. , & Chen, S. -. (2013). What drives business and leisure air passenger transport demand. *Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 30(1), 88-95.
- 29) Leung, A., Yen, B. T. H., & Lohmann, G. (2017). Why passengers' geo-demographic characteristics matter to airport marketing. *Journal of Travel and Tourism Marketing*, 34(6), 833-850. doi:10.1080/10548408.2016.1250698
- 30) Liu, H., Xu, Y. “., Stockwell, N., Rodgers, M. O., & Guensler, R. (2016). A comparative life-cycle energy and emissions analysis for intercity passenger transportation in the U.S. by aviation, intercity bus, and automobile. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 267-283. doi:10.1016/j.trd.2016.08.027

- 31) Zheng, J. -, Lin, J., Allwood, J. M., & Dean, T. (2021). A universal mass-based index defining energy efficiency of different modes of passenger transport. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 4(4), 423-433. doi:10.1016/j.ijlmm.2021.06.004
- 32) Wang, Z. Z., & Liu, X. Y. (2014). Analysis on difference between supply and demand of urban taxi passenger in the case of carpooling doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.543-547.4378
- 33) Karplus, V. J., Paltsev, S., Babiker, M., & Reilly, J. M. (2013). Applying engineering and fleet detail to represent passenger vehicle transport in a computable general equilibrium model. *Economic Modelling*, 30(1), 295-305. doi:10.1016/j.econmod.2012.08.019
- 34) Zhang, L., & Liu, B. (2010). Highway passenger traffic volume correlation analysis based on gray relational grade. *ICETC 2010 - 2010 2nd International Conference on Education Technology and Computer*, 4, V4199-V4202. doi:10.1109/ICETC.2010.5529701
- 35) Li, Z., & Bo, L. (2010). Highway passenger traffic volume research based on gray - markov prediction model. Paper presented at the 2010 International Conference on Networking and Digital Society, *ICNDS 2010*, , 2 229-232. doi:10.1109/ICNDS.2010.5479353
- 36) Peng, H., & Xu, M. (2012). Study on the model of intercity passengers' trip mode choice based on cluster analysis method doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.178-181.1934
- 37) Pham, T. Q. M., Lee, G., & Kim, H. (2020). Toward sustainable ferry routes in korea: Analysis of operational efficiency considering passenger mobility burdens. *Sustainability (Switzerland)*, 12(21), 1-22. doi:10.3390/su12218819
- 38) Hejin, Y. (2010). A bus passenger flow estimation method based on feature point's trajectory clustering. Paper presented at the Proceedings - 2010 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, *ICIS 2010*, , 1 426-430. doi:10.1109/ICICISYS.2010.5658589
- 39) Guo, J., Xue, Y., Cai, J., Gao, Z., Xu, G., & Zhang, H. (2021). A bus passenger re-identification dataset and a deep learning baseline using triplet embedding. *Multimedia Tools and Applications*, 80(11), 16425-16440. doi:10.1007/s11042-020-08944-0
- 40) Maternini, G., & Cadei, M. (2014). A comfort scale for standing bus passengers in relation to certain road characteristics. *Transportation Letters*, 6(3), 136-141. doi:10.1179/1942787514Y.0000000020
- 41) Fontes, T., Correia, R., Ribeiro, J., & Borges, J. L. (2020). A deep learning approach for predicting bus passenger demand based on weather conditions. *Transport and Telecommunication*, 21(4), 255-264. doi:10.2478/ttj-2020-0020
- 42) Bai, Y., Sun, Z., Zeng, B., Deng, J., & Li, C. (2017). A multi-pattern deep fusion model for short-term bus passenger flow forecasting. *Applied Soft Computing Journal*, 58, 669-680. doi:10.1016/j.asoc.2017.05.011
- 43) Zhao, S. -, Ni, T. -, Wang, Y., & Gao, X. -. (2011). A new approach to the prediction of passenger flow in a transit system. *Computers and Mathematics with Applications*, 61(8), 1968-1974. doi:10.1016/j.camwa.2010.08.023
- 44) Xiao, R., Zhu, J., Zhao, Z., Yu, H., & Du, Y. (2021). A passenger flow prediction method for bus lines based on multiple stepwise regression analysis. Paper presented at the 2021 11th International Conference on Information Science and Technology, *ICIST 2021*, 452-455. doi:10.1109/ICIST52614.2021.9440559
- 45) Wang, X., Chen, S., & Wei, H. (2018). A passenger flow statistic algorithm based on machine learning. Paper presented at the Proceedings - 2017 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics, *CISP-BMEI 2017*, , 2018-January 1-5. doi:10.1109/CISP-BMEI.2017.8302042
- 46) Xiang, H. -, & Ming, A. -. (2014). A study of the city bus passenger flow intelligent statistical algorithm based on motion vector tracking. Paper presented at the ICIST 2014 - Proceedings of 2014 4th IEEE International Conference on Information Science and Technology, 41-44. doi:10.1109/ICIST.2014.6920327
- 47) Cheng, S., Xu, J., Mu, Q., & Zhang, Y. (2014). A terminal departure passenger traffic prediction method based on the RBF neural network. Paper presented at the CICTP 2014: Safe, Smart,

and Sustainable Multimodal Transportation Systems - Proceedings of the 14th COTA International Conference of Transportation Professionals, 31-38. doi:10.1061/9780784413623.004

48) Xie, X. -, Feng, X. -, & Ren, Q. -. (2008). Adjustment plan of passenger traffic special line optimization study. Paper presented at the Proceedings of the 8th International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals - Logistics: The Emerging Frontiers of Transportation and Development in China, 3791-3796. doi:10.1061/40996(330)556

49) Pells, S. R. (1989). An approach to the simulation of bus passenger journey times for the journey to work. *Transportation Planning and Technology*, 14(1), 19-35. doi:10.1080/03081068908717411

50) Jiao, F., Huang, L., Song, R., & Huang, H. (2021). An improved stl-lstm model for daily bus passenger flow prediction during the covid-19 pandemic. *Sensors*, 21(17) doi:10.3390/s21175950

51) Aceves-González, C., May, A., & Cook, S. (2016). An observational comparison of the older and younger bus passenger experience in a developing world city. *Ergonomics*, 59(6), 840-850. doi:10.1080/00140139.2015.1091513

52) Tsui, W. H. K., & Fung, M. K. Y. (2016). Analysing passenger network changes: The case of hong kong. *Journal of Air Transport Management*, 50, 1-11. doi:10.1016/j.jairtraman.2015.09.001

53) Tu, Y., & Yang, J. (2017). Analysis and forecast of passenger flow based on public transportation IC card and GPS data. Paper presented at the Proceedings of 2016 5th International Conference on Computer Science and Network Technology, ICCSNT 2016, 281-285. doi:10.1109/ICCSNT.2016.8070164

54) Blinova, T. O. (2007). Analysis of possibility of using neural network to forecast passenger traffic flows in russia. *Aviation*, 11(1), 28-34. doi:10.1080/16487788.2007.9635952

55) Antonova, V. M., Grechishkina, N. A., & Kuznetsov, N. A. (2020). Analysis of the modeling results for passenger traffic at an underground station using AnyLogic. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 65(6), 712-715. doi:10.1134/S1064226920060029

56) Wang, P. -, Hsu, Y. -, & Hsu, C. -. (2021). Analysis of waiting time perception of bus passengers provided with mobile service. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 145, 319-336. doi:10.1016/j.tra.2021.01.011

57) Rahmatulloh, A., Nursuwars, F. M. S., Darmawan, I., & Febrizki, G. (2020). Applied internet of things (IoT): The prototype bus passenger monitoring system using PIR sensor. Paper presented at the 2020 8th International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2020, doi:10.1109/ICoICT49345.2020.9166420

58) Chang, H. -, & Wu, S. -. (2010). Applying the rasch measurement to explore elderly passengers' abilities and difficulties when using buses in taipei. *Journal of Advanced Transportation*, 44(3), 134-149. doi:10.1002/atr.127

59) Wang, J. (2019). Design of passenger transport modes between cities with environmental sustainability. Paper presented at the Proceedings - 2019 4th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation, ICECTT 2019, 323-327. doi:10.1109/ICECTT.2019.00080

60) Fitzová, H., Matulová, M., & Tomeš, Z. (2018). Determinants of urban public transport efficiency: Case study of the czech republic. *European Transport Research Review*, 10(2) doi:10.1186/s12544-018-0311-y

Methods of solving problems related to the organization of passenger transportation by road transport

Olena Dolia

Department of Information Control Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID 0000-0002-0364-988X

Kostiantyn Dolia

Department of automobile and transport infrastructure, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine

ORCID 0000-0002-4693-9158

Abstract: One of the areas of public service is the provision of high-quality and timely transportation services to passengers. The organization of passenger transportation by road transport is a set of measures aimed at creating favorable conditions for the movement of the population. The social development of the area depends on the correct organization of the city's public passenger transport. The creation of a universal structure of the management system of carriers of various forms of ownership is important for small cities and towns of the urban type, since the majority of the population in such cities use public transport. The ever-increasing mobility of the population in the world, the reformatting of management relations between various branches of social production place increased demands on the construction of route systems, and on the quality of their planning and management. In these conditions, as foreign experience shows, the most important direction of the efficiency of the functioning of passenger transport systems is the scientific and technical justification of their optimal construction. We will comprehensively consider the list of problems of the rational construction of route systems, namely: methods of collecting and processing information about passenger flows, modeling the passenger transport system of cities, as well as methods, models and software for routing passenger transportation.

Key words: organization of passenger transport, road transport, population movement, public service, city transport, management relations, foreign experience, construction of route systems, passenger flow, transport routing.
