

# ТРАНСПОРТ

УДК 656.13.01

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/31>**Баранов І.О.**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

**Пишкун В.В.**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

**Мішуков Є.О.**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ МАРШРУТАХ

У статті розроблено математичну модель з елементами теорії нечітких множин для визначення величини попиту на послуги міського пасажирського маршрутного транспорту. На основі моделі запропоновано методика визначення необхідної кількості рухомого складу на маршрутах руху. Визначені найактуальніші тенденції в області організації пасажирських послуг:

- збільшення та адаптація пропонованих послуг до специфічних вимог пасажирів;
- активне формування попиту на послуги транспорту з метою прибуткової реалізації вже наявних послуг.

У результаті аналізу проведених досліджень встановлено, що більшість наявних натурних методик визначення величини попиту на послуги міського пасажирського маршрутного транспорту не відповідають сучасним вимогам (обсяг, точність та оперативність отримання інформації). Натепер триває зростання обсягів комерційних перевезень, які виконуються муніципальними операторами, здійснюється субсидування збитків від перевезень у соціальному секторі міського пасажирського маршрутного транспорту коштом прибутку від виконання комерційних перевезень.

Визначені основні способи пересування населення міста, до яких належать поїздка на комерційному транспорті, поїздка на муніципальному транспорті, поїздка на легковому автомобілі, подорож на таксі або піший перехід. Наведена класифікація жителів міста в залежності від вартості проїзних квитків і наявності пільговиків, які купують пільгові проїзні квитки. Виконано розрахунок витрат, пов'язаних із поїздкою населення міста на міському пасажирському маршрутному транспорті й легковому автомобілі. Побудована цільова функція задачі вибору засобу пересування, яка будується на гіпотезі, згідно з якою пасажир прагне скоротити свої ймовірні витрати на поїздку. Встановлена закономірність розподілу швидкостей руху легкових транспортних засобів на основних магістралях міста. Проведено аналіз впливу на ймовірність вибору засобу пересування під час поїздки таких факторів, як вартість проїзду на міському пасажирському маршрутному транспорті, вартість палива, швидкість руху на легковому автомобілі, час руху міського пасажирського маршрутного транспорту.

**Ключові слова:** ефективність управління, пасажирський маршрутний транспорт, математична модель, прогнозування, транспортне обслуговування.

**Постановка проблеми.** Міський пасажирський маршрутний транспорт (далі – МПМТ) відіграє головну роль у забезпеченні транспортної рухливості населення. Основний обсяг перевезень пасажирів здійснюється в соціальному секторі МПМТ на наземних маршрутах. Тут працюють переважно державні (муніципальні) підприємства. Частка цього сектора в загальному обсязі перевезень пасажирів становить у цілому близько 85 %. У комерційному секторі здійснюються авто-

бусні й троллейбусні перевезення. Частка цього сектора в цілому по країні – близько 15 %.

У процесі функціонування автобусних перевезень спостерігається висока питома вага індивідуальних підприємців – понад 95 % від загальної кількості автобусних операторів. Частка державних і муніципальних підприємств становить близько 1 %, а приватних підприємств – 4 % [1, с. 226].

Муніципальні автобусні підприємства діють переважно в соціальному секторі. Вони розпоря-

джаються 47 % парку автобусів МПМТ. Приватні оператори контролюють 53 % парку автобусів (рис. 1), однак в 15 % міст комерційні перевезення становлять понад 35 % від загального обсягу. Водночас приблизно в 10 % міст комерційний сектор знаходиться в початковій стадії розвитку [2, с. 11].



Рис. 1. Питома вага парку операторів різних форм власності

За останні 5 років чисельність парку автобусів у соціальному секторі скоротилася на 5–7 %. Знос парку рухомого складу МПМТ наближається до 60 %. Частка автобусів, що експлуатуються з перевищенням нормативного терміну служби, становить 60 %, трамваїв – 56 %, а тролейбусів – 53 % [2, с. 13]. Водночас оновлення парку становить тільки 40 % від необхідного рівня.

Актуальне завдання зниження навантаження МПМТ на бюджетну галузь міста, яке розв’язується шляхом підвищення тарифів і зниження експлуатаційних витрат муніципальних операторів. Місцеві органи влади з метою скорочення бюджетних витрат нарощують обсяги комерційних перевезень. Триває зростання обсягів комерційних перевезень, які виконуються муніципальними операторами. Таким чином, здійснюється субсидування збитків від перевезень у соціальному секторі МПМТ шляхом прибутку від виконання комерційних перевезень.

За підсумками 2019 року, середній вік парку автобусів, що діють в соціальному секторі, склав 10 років, трамваїв – 15 років і тролейбусів – 7 років. У комерційному секторі використовуються відносно нові автобуси, їхній середній термін експлуатації близько 4 років.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В області розробки методів визначення попиту на послуги МПМТ значний внесок належить А.В. Вельможину, С.В. Володченко, В.А. Гудкову, І.С. Єфремову, А.П. Лопатіну, І.П. Макарову, О.М. Мальгіну, Л.Б. Миротіну, Є.В. Овечнікову, М.С. Фішельсону.

Інформація про величину попиту населення на послуги МПМТ і потоках у транспортній мережі головним чином виходить зі спостережень [3, с. 46; 4, с. 37; 5, с. 62]. Усі наявні методики визначення величини попиту населення на послуги МПМТ

можна розділити на два типи: натурні й розрахункові методики, які своєю чергою класифікуються за рядом ознак [5, с. 60; 6, с. 18]. Натурні методики класифікуються за ознаками: за тривалістю періоду, за шириною охоплення транспортної мережі, за способом фіксації переміщень пасажирів.

Аналіз проведених досліджень дозволяє зробити висновок, що більшість наявних натурних методик визначення величини попиту на послуги МПМТ не відповідають сучасним вимогам (обсяг, точність і оперативність отримання інформації). А автоматизовані методи обстежень пасажиропотоків вимагають установки високоякісного обладнання та значних експлуатаційних витрат, що неприйнятно для органів місцевого самоврядування [7, с. 68; 8, с. 525; 9, с. 9].

**Постановка завдання.** Основною вимогою раціональної організації пасажирських перевезень є повне та якісне задоволення потреб населення в перевезеннях за умови ефективного використання рухомого складу [10, с. 7; 11, с. 156; 12, с. 13].

Нові економічні умови, формування ринку пасажирських послуг, поява й посилення конкуренції між державними (муніципальними) й комерційними організаціями сприяли появі й закріпленню на практиці організації та планування роботи такого поняття, як «послуга транспорту» [13, с. 29].

Попит на пасажирські послуги багато в чому залежить від розвитку наявних видів МПМТ у регіоні, ступеня їх інтеграції в єдину систему, рівня тарифів за видами транспорту, асортименту та якості послуг, що представляються можливим клієнтам. Питома вага транспортних послуг із розвитком ринкової економіки та її інфраструктури, як правило, зростає.

Можна відзначити дві тенденції в області організації пасажирських послуг:

- 1) збільшення та адаптація пропонованих послуг до специфічних вимог пасажирів;
- 2) активне формування попиту на послуги транспорту з метою прибуткової реалізації вже наявних послуг.

Різні групи пасажирів повинні обслуговуватися відповідно до їхніх конкретних потреб. Пасажири самі здійснюють вибір відповідних послуг, їхньої кількості й характеру реалізації. Вони визначають свої пріоритети, які багато в чому залежать від якості послуг, що надаються.

Закономірності формування попиту населення на послуги МПМТ зумовлюються низкою взаємозалежних чинників: кількістю населення міста й розміром його території; рівнем розвитку сус-

пільства і його соціальною структурою; рівнем розвитку суспільного виробництва; сформованим традиційним укладом життя; характером розселення та розміщення місць праці; розвитком техніки, інформації та зв'язку; бюджетом вільного часу; рівнем реальних доходів населення.

Попит на послуги МПМТ можна представити у вигляді багатофакторної функції:

$$\Phi = f(A, B, L, \eta, N_{mp}, M, C_{min}, \Pi, z_e, K_o, V_e), \quad (1)$$

де  $A$  – обсяг районів відправлення, чол.;

$B$  – обсяг районів прибуття, чол.;

$L$  – дальність подорожі, км;

$\eta$  – наявність власного автомобіля;

$t$  – час сполучення між районами, хв;

$\eta$  – інтенсивність руху МПМТ, од./год;

$N_{mp}$  – наявність різних видів МПМТ;

$M$  – кількість маршрутів пасажирського транспорту, які проходять між транспортними районами міста;

$C_{min}$  – вартість хвилини часу, грн;

$\Pi$  – вартість однієї пасажирської послуги на міському транспорті, грн;

$Z_e$  – витрати на експлуатацію легкового автомобіля, грн;

$K_o$  – середня кількість поїздок на день;

$V_e$  – експлуатаційна швидкість сполучення, км/год.

Моделі визначення попиту на послуги МПМТ призначені для визначення потреби в провізних здібностях. Відповідно, моделі попиту призначені для того, щоб відповісти на питання, як пасажирі реагують на зміну різних показників транспортного процесу.

Метою роботи є підвищення ефективності управління процесами перевезень на міських автобусних маршрутах на основі розробки методології та методики визначення попиту на послуги МПМТ із використанням нової функції тяжіння.

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

Для визначення попиту на міські пасажирські перевезення застосовано гравітаційне моделювання з елементами теорії нечітких множин [14, с. 365; 15, с. 48; 16, с. 95]. Застосування гравітаційної моделі здійснювалося з використанням основних положень:

1. Усі кореспонденції міського населення поділяються на внутрішньорайонні й міжрайонні.

2. Внутрішньорайонні кореспонденції замикаються всередині транспортних районів, а міжрайонні здійснюються між заданими районами.

3. Найбільш детермінованими пересуваннями міського населення є пересування працівників до місць праці й пересування учнів до місць навчання в години пік [17, с. 19; 18, с. 228].

4. Визначення попиту на послуги МПМТ у ранковій годині пік. Вибір ранкових годин пік зумовлений тим, що безпосередньо з роботи або навчання додому повертаються не всі пасажирі, тому що частина з них, близько 10%, направляється з роботи або навчання в інші пункти, зменшуючи тим самим відносну кількість зворотних поїздок.

Модифікована ймовірнісна гравітаційна модель записується у вигляді:

$$\begin{aligned} H_{ij} &= W_i U_j A_i B_j \mu_x(t_{ij}) \\ \left\{ \begin{aligned} W_i &= \left[ \sum_{j=1}^J U_j B_j \mu_x(t_{ij}) \right]^{-1} \\ U_j &= \left[ \sum_{i=1}^I W_i A_i \mu_x(t_{ij}) \right]^{-1} \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (2)$$

де  $H_{ij}$  – величина попиту на послуги МПМТ між транспортними районами  $i$  та  $j$ , пас.-місць;

$A_i$  – обсяг  $i$ -го району відправлення, чол.;

$B_j$  – обсяг  $j$ -го району прибуття, чол.;

$\mu_x(t_{ij})$  – функція приналежності  $i$ -го району відправлення до  $j$ -го району прибуття;

$t_{ij}$  – середньозважений час сполучення між районами  $i$  та  $j$ , хв;

$x$  – безліч районів відправлення, які тяжіють до районів прибуття;

$I$  – кількість районів відправлення;

$J$  – кількість районів прибуття;

$W_i, U_j$  – множини балансування, які розв'язуються ітераційним методом.

Функція приналежності районів відправлення та прибуття для міста залежить від середньозваженого часу сполучення  $t_{ij}$  між ними. Величина  $t_{ij}$  є нечіткою величиною у зв'язку з тим, що між районами існує кілька зв'язків (маршрутів) із різними значеннями часу сполучення. Тоді  $i$ -й район відправлення, що тяжить до  $j$ -го району прибуття, належить множині  $x$  із деяким ступенем за умови, що час сполучення  $t_{ij}$  між районами знаходиться в межах:

$$t_{min} < t_{ij} < t_{max}, \quad (3)$$

де  $t_{min}, t_{max}$  – відповідно нижня та верхня межа нечіткої множини  $x$ .

На основі отриманих даних встановлена закономірність розподілу швидкостей руху легкових транспортних засобів на основних магістралях міста [19, с. 127]. Функція щільності ймовірності розподілу швидкостей руху легкових транспортних засобів:

$$f(v_a) = \frac{1}{\sigma_v \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(v_a - \bar{v}_a)^2}{2\sigma_v^2}\right), \quad (4)$$

де  $\bar{v}_a$  – оцінка математичного очікування швидкості руху, км/год;

$\sigma_v$  – оцінка середньоквадратичного відхилення, км/год.

Витрати на експлуатацію легкового автомобіля  $Z_e$  визначаються таким чином:

$$Z_e = Z_m + Z_{cm} + Z_{ш} + Z_{ТО,ТР} + Z_a, \quad (5)$$

де  $Z_m$  – витрати на паливо, грн;

$Z_{cm}$  – витрати на змащувальні матеріали, грн;

$Z_{ш}$  – витрати на шини, грн;

$Z_{ТО,ТР}$  – витрати на технічне обслуговування та експлуатаційний ремонт, грн;

$Z_a$  – амортизаційні відрахування на відновлення автомобіля, грн;

Умови вибору легкового автомобіля:  $Z_a < Z_{МПМТ}$ , або

$$C_{мін} \cdot t_a + Z_e < C_{мін} \cdot t_{МПМТ} + Ц, \quad (6)$$

Звідки вартісна оцінка економії 1 хвилини часу:

$$C_{мін} > \frac{Z_e - Ц}{t_{МПМТ} - t_a}, \quad (7)$$

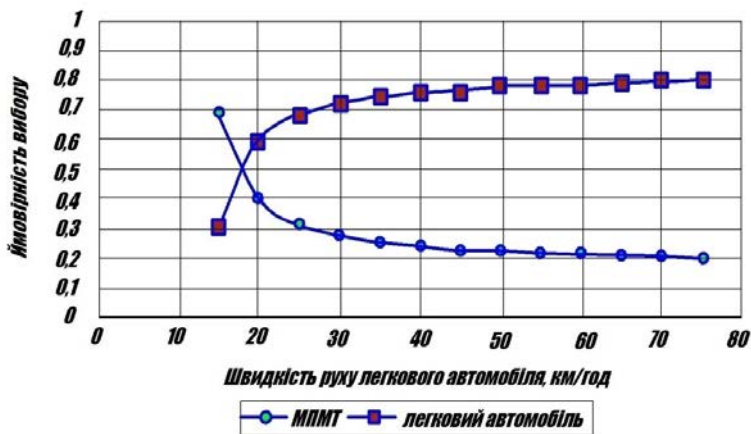


Рис. 2. Вплив швидкості руху легкового автомобіля на ймовірність вибору засобу пересування

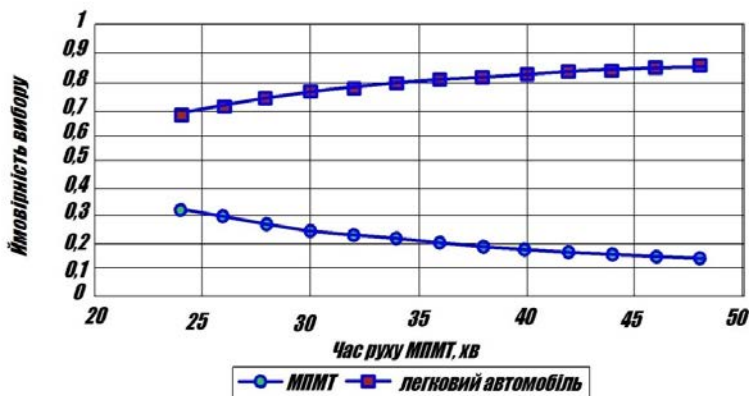


Рис. 3. Вплив часу руху на МПМТ на ймовірність вибору засобу пересування

Тоді ймовірність вибору легкового автомобіля:

$$P_a = P\left(C_{мін} > \frac{Z_e - Ц}{t_{МПМТ} - t_a}\right) = 1 - P\left(C_{мін} \leq \frac{Z_e - Ц}{t_{МПМТ} - t_a}\right) = 1 - F(C_{мін}), \quad (8)$$

де  $F(C_{мін})$  – функція розподілу випадкової величини  $C_{мін}$ .

Тобто, ймовірність вибору легкового автомобіля:

$$P_a = 1 - 1 + \exp(-\lambda_0 C_{мін}) = \exp(-\lambda_0 C_{мін}) = \exp\left(-\lambda_0 \cdot \frac{Z_e - Ц}{t_{МПМТ} - t_a}\right), \quad (9)$$

де  $\lambda_0$  – параметр експоненціального закону розподілу випадкової величини  $C_{мін}$ .

Тоді ймовірність вибору МПМТ:

$$P_{МПМТ} = 1 - P_a, \quad (10)$$

Можливість вибору легкового автомобіля відповідно підвищується (рис. 2–3).

Проведено аналіз впливу на ймовірність вибору засобу пересування під час поїздки від пункту «А» до пункту «Б» таких факторів, як вартість проїзду на МПМТ, вартість палива, швидкість руху на легковому автомобілі, час руху МПМТ.

**Висновки.** Розроблені методологія та методика визначення попиту на послуги МПМТ із використанням нової функції тяжіння, заснованій на нечіткій логіці, дозволяють із незначними витратами на збір вихідних даних і проведення обчислювальних робіт:

- встановити величину попиту на послуги МПМТ і на його основі визначити необхідну кількість рухомого складу на маршрутах руху;

- проводити аналіз впливу факторів (інтервал руху, час і швидкість сполучення) на закономірності формування пасажиропотоків; враховувати зміну цих факторів під час варіації структури планування, реорганізації транспортної та маршрутної мережі міста;

- прогнозувати зміну попиту на послуги МПМТ у разі зміни різних чинників, що впливають на функцію приналежності районів відправлення до районів прибуття пасажирів.



## Список літератури:

1. Григорова Т.М. Теоретичні основи організації маршрутних автобусних перевезень у приміському сполученні : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.01. Харків, 2016. 348 с.
2. Піцик М.Г. Підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень : автореф. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Київ, 2020. 20 с.
3. Жилин И.В. Перспективы развития автомобильного транспорта за счет использования современных информационных технологий. *Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ПТТ-2018* : материалы I междунар. науч.-практ. конф., 12–13 декабря 2018г. Т. 1. Липецк : Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2018. С. 44–48.
4. Горев С.А. Безопасность автобусных перевозок. *Автотранспортное предприятие*. 2018. № 9. С. 34–39.
5. Блюмин С.Л., Суворов В.А. Модель поведения пассажира городского транспорта. *Вестник ЛГТУ-ЛЭГИ*. 2004. № 1 (12). С. 59–65.
6. Якунин Н.Н., Якунина Н.В., Смирнов А.В. Модель организации транспортного обслуживания населения автомобильным транспортом по маршрутам регулярных перевозок. *Грузовое и пассажирское автохозяйство*. 2013. № 3. 31 с.
7. Гульчак О.Д. Підвищення ефективності міських пасажирських перевезень на основі удосконалення організації руху автобусів : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 ; Національний транспортний ун-т. Київ, 2005.
8. Гудков В.А., Ширяев С.А., Устинова О.В. Анализ факторов, влияющих на определение необходимого количества пассажирских транспортных средств на маршрутах. *Прогресс транспортных средств и систем – 2005* : сб. матер, междунар. науч.-практ. конф. Волгоград / Гос. техн. ун-т. Волгоград, 2005. С. 525–526.
9. Володченко С.В. Моделирование распределения пассажирских потоков в крупных городах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Санкт-Петербург, 2005. 17 с.
10. Чернова Г.А. Организация безопасной перевозки пассажиров с учетом эксплуатационной и экологической составляющих : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 15.22.10. Волгоград, 2005. 166 с.
11. Скиркоцкий С.В., Седюкевич В.Н. Оценка экономической эффективности предложений по совершенствованию автобусных перевозок. *Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния* : материалы XX международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2014. С. 154–158.
12. Гомоненко Ю.В. Совершенствование управления автобусными перевозками в городах с прямоугельно-линейной планировочной структурой: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08. Москва, 2004. 24 с.
13. Автоматизированные системы управления наземным пассажирским транспортом и их сферы действия. *Автотранспортное предприятие*. 2017. № 4. С. 29–30.
14. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. Москва : ЮНИТИ, 1998. 1022 с.
15. Хаскинс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. Издание 8-е. Москва : Статистика, 2017. 98 с.
16. Гончаров А.М. Методика оценки важности сложных, функционально неоднородных организационно-технических систем. *Наука и техника транспорта*. 2017. № 7. С. 92–99.
17. Баранов И.О., Баранова В.Н., Тараторина А.Н., Короленко Т.В. Анализ методики повышения потребительских свойств регулируемых перекрестков улично-дорожной сети города. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2017. №3 (233). С. 17–21.
18. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошников В.В., Петрусенко А.С. Анализ состояния пассажирских перевозок в крупных транспортных узлах. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2016. № 1 (225). С. 227–230.
19. Баранов И.О., Мірошнікова М.В., Сущенко Л. І., Сущенко О.О. Підвищення ефективності функціонування системи транспортного обслуговування міського населення. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті* : збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених, 14-16 листопада 2019 року, м. Лиман (Донецька обл.). Лиман, 2019. С. 127–128.

**Baranov I.O., Pshikun V.V., Mishukov Ye.O. IMPROVING EFFICIENCY OF TRANSPORTATION PROCESS MANAGEMENT ON CITY BUS ROUTES**

*The article develops mathematical model, with elements fuzzy set theory, determine magnitude of demand urban passenger transport services. Based on model, method for determining required number rolling stock on*

*traffic routes is proposed. The most actual tendencies in field organization of passenger services are defined: – increase and adaptation offered services specific requirements passengers; – active formation demand for transport services in order profitably sell existing services. As result analysis conducted researches it is established majority of existing full-scale methods definition size demand for services city passenger route transport do not meet modern requirements (volume, accuracy and efficiency of receiving information). Currently, volume commercial traffic performed by municipal operators continues increase, and losses from transportation in social sector urban passenger scheduled transport are subsidized at expense profits from performance of commercial transportation. The main ways moving population city are identified, which include trip by commercial vehicle, trip by municipal transport, trip by car, taxi or pedestrian crossing. Classification city residents depending on cost travel tickets and availability of beneficiaries who buy discounted travel tickets. Costs associated with travel city's population on urban passenger transport and cars have been calculated. The target function task choosing means of transportation, which is based on hypothesis passenger seeks to reduce their probable travel costs. Regularity distribution speeds movement of passenger vehicles on main highways city is established. Analysis influence on probability choosing means of transportation during trip such factors as cost travel on urban passenger transport, fuel cost, speed car, travel time urban passenger transport. Theoretical and methodological basis study were scientific papers on improving social and economic efficiency urban passenger traffic management, reducing negative impact of urban passenger transport on environment, methods statistical analysis, economic-mathematical and simulation modeling, graph theory, systems analysis, principles decision making in conditions uncertainty, probability theory and fuzzy sets.*

**Key words:** *management efficiency, passenger route transport, mathematical model, forecasting, transport service.*