

УДК 656.025

DOI: 10.31498/2225-6733.53.2.2026.359962

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ
НА ПРИКЛАДІ М. ЧЕРКАСИ

- Тарандушка Л.А.** д-р техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1410-9088>, e-mail: tarandushkal@ukr.net;
- Шльончак І.А.** канд. техн. наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5096-2414>, e-mail: Igor.Shlionchak@ukr.net;
- Мурованій І.С.** канд. техн. наук, доцент, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>, e-mail: Igor_lntu@ukr.net

В роботі розглянута методика визначення пасажирських і транспортних формувань кореспонденцій на підставі аналізу транзакцій безготівкової оплати проїзду в міському транспорті. Запропоновано алгоритм встановлення поїздок пасажирів та відповідних пасажирських кореспонденцій. Алгоритм було сформовано з урахуванням множини квитків (магнітних карт) безготівкового розрахунку пасажирів. Розглянутий алгоритм визначення поїздок пасажирів (транспортних кореспонденцій), а також пасажирських кореспонденцій, що можуть включати кілька поїздок, реалізовано у вигляді комп'ютерної програми, розробленої із застосуванням відповідного програмного забезпечення Microsoft Access. Використання стандартних програмних компонентів забезпечує можливість інтеграції та використання більшості сучасних баз даних без необхідності суттєвого доопрацювання. У результаті застосування алгоритму визначення кореспонденцій формується множина кореспонденцій, яка використовується як основа для апроксимації параметрів генеральної сукупності кореспонденцій. Для оцінювання генеральної сукупності пасажирських кореспонденцій доцільно застосувати відповідні параметри лінійної апроксимації. Доведено, що питома вага безготівкових розрахунків в міському транспорті відповідає нормальному закону розподілу. В дослідженні використовувались теоретичні методи наукових досліджень, методи математичного моделювання та метод обчислювального експерименту. В результаті проведених досліджень було встановлено, що виявлення закономірностей мобільності населення є одним із ключових завдань при розв'язанні широкого спектра транспортних і містобудівних проблем.

Ключові слова: міський транспорт загального користування; методика оцінки пасажиропотоків; кореспонденція насення; безготівкова оплата проїзду; транзакція.

Постановка проблеми

Ефективне управління міським пасажирським транспортом загального користування є ключовою передумовою його конкурентоспроможності на тлі інтенсивного збільшення кількості приватних транспортних засобів. Забезпечення таких конкурентних властивостей досягається шляхом підвищення ефективності оперативного управління перевезеннями та вдосконалення транспортного планування [1, 2].

Ключовим є отримання даних про рух пасажирів у реальному часі. Дані про пасажиропотоки можуть бути отримані шляхом аналізу транзакцій безготівкової оплати проїзду. У цій області відсутня систематизована база знань щодо обробки даних і точності моніторингу [3, 4].

Необхідно зазначити, що обробку даних, що поступають від джерела зберігання інформації про транзакції, можна виконувати з розрахунку міжрайонної матриці кореспонденцій. В зв'язку з цим постає завдання дослідити пасажиропотоки міського транспорту загального користування в м. Черкаси з урахуванням даних безготівкової оплати проїзду.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідженням пасажирських потоків великих міст в транспорті загального користування з

урахуванням безготівкового розрахунку займаються ряд закордонних та вітчизняних науковців.

Так, дослідження [1] присвячене моделюванню безконтактних транзакцій у міському транспорті та визначенню структури даних, що генеруються під час оплати проїзду. Показано потенціал використання цих даних для аналізу пасажиропотоків.

Автор наукової роботи [3] розглянув розвиток цифрових платіжних технологій у транспорті та їх роль у зборі даних про поїздки. Підкреслено значення таких даних для управління транспортними системами.

Автори [4] пропонують новий метод оплати проїзду на основі NFC та QR-кодів. Описано технічну архітектуру системи та можливості збору даних про пасажирів.

Автори статей [5-7] аналізують фактори вибору пасажирями способу оплати проїзду. Зазначається висновок про те, що механізми та ключові фактори, що впливають на вибір пасажирів щодо оплати квитків за допомогою нових каналів електронної оплати недостатньо вивчені. У роботах застосовано методи машинного навчання для аналізу впровадження цифрових платежів у транспорті. Доведено, що володіння проїзною карткою, рід діяльності, місце проживання, мета подорожі, рівень освіти та стать є важливим та

впливовими факторами, які можуть ефективно впливати на уподобання пасажирів щодо способу оплати проїзду.

Зацікавленість з наукової точки зору представляє стаття [8]. Дослідження описує методи визначення пасажиропотоку за допомогою Bluetooth і смартфонів. Дані мобільних пристроїв використовуються для аналізу посадки та висадки пасажирів.

Роботи [9, 10] є дослідженням пасажиропотоків як способу вивчення поведінки користувачів через мережу загального користування з метою розробки нових об'єктів та послуг. При цьому зазначається ефективне використання технології Bluetooth та смартфонів. Автори досліджують мобільність пасажирів за допомогою ідентифікації та автентифікації рахунків користувачів. В роботах представлено модель прогнозування пасажиропотоків із використанням нейронних мереж. Враховуються часові та просторові залежності в даних.

Автори [11-13] представляють дослідження бібліометричного аналізу досліджень у сфері моделювання пасажиропотоків. Визначено основні тенденції та джерела даних у сучасних дослідженнях. В роботах проаналізовано впровадження безконтактних платіжних технологій у транспорті. Розглядається їх вплив на поведінку пасажирів і управління транспортними системами.

Мета статті

В роботі висунуто гіпотезу, що формування об'єктивної моделі пасажирських кореспонденцій є можливим завдяки обробці інформації, отриманої в результаті безготівкових розрахунків за проїзд.

Відповідно, метою дослідження є розробка підходу до моніторингу пасажирських кореспонденцій у місті Черкаси, який базується на обробці інформації, отриманої з транзакцій безготівкової оплати проїзду в громадському транспорті.

Об'єктом дослідження є сукупність переміщень населення в межах міста Черкаси.

Виклад основного матеріалу

Дослідження закономірностей пересування населення відіграє ключову роль у вирішенні різноманітних завдань у сфері транспорту та містобудування, зокрема пов'язаних із розвитком вулично-дорожньої мережі, а також розробкою й оптимізацією маршрутів пасажирського транспорту [5].

Значна трудомісткість більшості методів натурального обстеження рухливості населення звужує можливість їх практичного використання, що зумовлює доцільність застосування розрахункових методів для оцінювання коливань рухливості на основі вибіркового інструментальних спостережень. Внаслідок цього існуючі моделі не відзначаються достатнім рівнем адекватності, що зумовлює ризик прийняття неефективних управлінських рішень у сфері розвитку транспортної системи. Розрахункові методи визначення рухливості

населення не забезпечують необхідної точності для розв'язання багатьох транспортних задач, у зв'язку з чим їх застосовують у поєднанні з натурними методами для побудови моделі нормування вибіркової сукупності кореспонденцій з подальшою оцінкою генеральної сукупності [14].

Об'єктивна оцінка рухливості населення можлива за умови проведення інструментального моніторингу протягом достатньо тривалого періоду. Водночас у процесі моделювання пасажирських кореспонденцій необхідно враховувати взаємний вплив параметрів функціонування транспортної системи та характеристик рухливості населення. Про це, наприклад, свідчить відомий ефект, названий «порочним кругом транспортної мобільності», відповідно до якого недостатній рівень розвитку громадського транспорту призводить до зниження рухливості населення, яке зменшує рівень застосування пасажирського транспорту.

Таким чином, обґрунтовується необхідність здійснення безперервного інструментального вимірювання пасажирських кореспонденцій населення з метою ефективного вирішення актуальних завдань у сфері транспорту. Запропонований підхід забезпечує розв'язання низки актуальних завдань, серед яких – підвищення адекватності моделей розрахунку рухливості населення на основі аналізу узгодженості результатів із різних джерел, а також забезпечення об'єктивної оцінки динаміки параметрів функціонування транспортної системи [7].

На сучасному етапі частка безготівкових розрахунків у міському пасажирському транспорті досягає приблизно 50%, що дає підстави вважати вибірку, сформовану на основі транзакцій, репрезентативною для оцінювання генеральної сукупності пасажирських кореспонденцій. Діючі тарифні умови обумовлюють формування певного набору параметрів у транзакціях безготівкової оплати проїзду в міському пасажирському транспорті, зокрема:

- унікальний ідентифікатор проїзного квитка (магнітної картки);
- дата та час здійснення операції оплати;
- зупинний пункт, на якому виконано посадку;
- номер маршруту та напрямок руху транспортного засобу;
- модель транспортного засобу.

На сучасному етапі в міському пасажирському транспорті використовуються два основні підходи до оплати проїзду (включаючи безготівкову форму): а) оплата під час посадки в транспортний засіб; б) оплата під час висадки з транспортного засобу.

Інший варіант сплати за поїздку практикується в автобусах невисокої місткості. У місті Черкаси це автобуси марки «Ataman». Таким чином, транзакцію можна виразити наступним чином:

$$r = (k, t, g, i, m), \quad (1)$$

де k – визначник транзакції;

t – момент дії;
 g - маршрут;
 i – місце зупинки;
 m – марка транспорту.

Пасажи́рська кореспонденція може бути реалізована як однією, так і кількома поїздками, сукупність яких позначимо $T(b, e)$. Далі розглядається алгоритм визначення транспортних і пасажирських кореспонденцій, що формується на основі аналізу множини транзакцій безготівкової оплати конкретного пасажира. Основною алгоритму є впорядкування транзакцій у часі для ppn -го проїзного квитка [15].

Параметри однієї транзакції дають можливість ідентифікувати лише один із пунктів поїздки – початковий або кінцевий залежно від моменту оплати. У випадку оплати під час посадки визначається початковий пункт, а під час висадки – кінцевий. Визначення іншого пункту здійснюється на основі суміжної транзакції: наступної (для оплати на початку) або попередньої (для оплати в кінці поїздки). При цьому необхідно оцінити, чи є такі транзакції взаємопов'язаними, тобто чи формують вони послідовність [16].

Логічно припустити, що транзакції, які є послідовними, повинні задовольняти певну умову:

а) у випадку оплати на початку поїздки розглядається підмножина зупинок маршруту поточної транзакції, що слідують після пункту оплати. Серед них має бути зупинка, розташована в межах пішохідної доступності від пункту оплати наступної транзакції, за умови, що в цій транзакції оплата також виконана на початку поїздки:

$$l(ij, b_{j+1}) = \min l(Ij, b_{j+1}), \quad (2)$$

де ij – з множини зупинок маршруту поточної транзакції, що слідують після пункту оплати, обирається та, яка розташована на найменшій відстані від пункту оплати наступної транзакції b_{j+1} ;

Ij – підмножина зупинок маршруту поточної транзакції, що йдуть за місцем оплати їздки;

б) у випадку оплати в кінці поїздки розглядається підмножина зупинок маршруту поточної транзакції, що передують пункту оплати. Серед них має бути зупинка, розташована в межах пішохідної доступності від пункту оплати попередньої транзакції, за умови, що в ній оплата також здійснена наприкінці поїздки:

$$l(ij, b_{j-1}) = \min l(Ij, b_{j-1}), \quad (3)$$

де ij – із множини зупинок маршруту поточної транзакції, що передують пункту оплати поїздки, обирається та, яка має мінімальну відстань до пункту оплати наступної транзакції b_{j-1} ;

Ij – розглядається підмножина зупинок маршруту поточної транзакції, що передують пункту оплати поїздки. Відповідно, умову пов'язаності транзакцій доцільно подати в такому вигляді:

$$a) l(ij, b_{j+1}) < L_{\text{піш}}$$

$$б) l(ij, b_{j-1}) < L_{\text{піш}}$$

де $L_{\text{піш}}$ – відстань пішохідної доступності зупинок, м.

Розрахунок відстаней між зупинками здійснюватиметься на основі їхніх глобальних координат. Підмножина зупинок маршруту поточної транзакції з відстанню до зупинки наступної або попередньої транзакції можна розрахувати за допомогою SQL запиту будь-якої реляційної системи управління базами даних.

Як було відзначено вище, пасажирська кореспонденція може включати одну або декілька поїздок, утворюючи впорядковану множину. При цьому дві послідовні поїздки, що входять до цієї множини, мають відповідати певним вимогам:

а) зупинка, що знаходиться на закінченні попередньої поїздки повинна знаходитися в зоні пішохідної доступності від зупинки початку наступної поїздки:

$$l(e_{j-1}, b_j) < L_{\text{піш}}; \quad (4)$$

б) проміжок часу між завершенням попередньої поїздки та початком наступної має бути меншим або рівним встановленому інтервалу пересадки:

$$\tau(e_{j-1}, b_j) < \tau_{\text{пер}}. \quad (5)$$

На підставі вищевикладеного можна сформулювати наступний алгоритм рішення задачі. Є множина квитків (магнітних карт) безготівкового розрахунку пасажирів, впорядкована будь-яким чином.

Крок 1. З усіх квитків послідовно обирається черговий квиток, причому на початку розрахунку використовується перший.

Крок 2. Вибирається поточна j -а транзакція даного проїзного квитка.

Крок 3. Визначення поїздки пасажира.

Крок 4. Визначення пасажирської кореспонденції.

Розглянутий алгоритм визначення транспортних і пасажирських кореспонденцій, які можуть складатися з однієї або кількох поїздок, було реалізовано у вигляді програмного забезпечення, розробленого мовою Delphi із застосуванням реляційної системи управління базами даних Microsoft Access. Варто зазначити, що стандартні компоненти програми дозволяють без значних змін використовувати різні сучасні СУБД, такі як Oracle Database, Microsoft SQL Server, InterBase, IBM Db2 тощо.

Зниження частки розпізнаних транзакцій наприкінці звітного періоду обумовлене «крайовим ефектом»: через наявність пасажирів, які здійснюють поїздки з інтервалом у кілька днів, частина транзакцій не знаходить свого завершення в межах одного календарного місяця. Для коректної інтерпретації таких даних необхідно залучати інформацію про поїздки на початку

наступного місяця, тому розрахунок середніх показників питомої ваги розпізнаних оплат та коефіцієнта пересадочності було обмежено першими 25 днями. Аналіз добового розподілу безготівкових оплат (рис. 1) свідчить про високу стабільність процесу: середня кількість поїздок у будні становить 234,2 тис. при незначних коливаннях у межах від 223,9 до 243,2 тис. Така рівномірність динаміки, що загалом корелює із загальними показниками пасажиропотоку, підтверджує репрезентативність вибірки безготівкових розрахунків для адекватної оцінки генеральної сукупності поїздок у межах транспортної мережі.

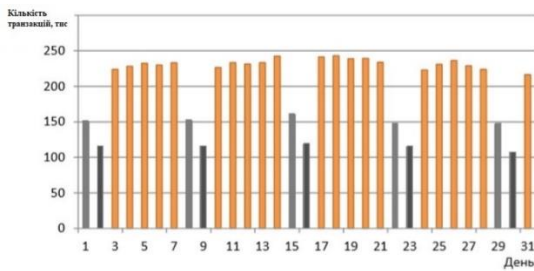


Рис. 1 – Динаміка добової кількості транзакцій безготівкової оплати протягом місяця

На рис. 2 наведено динаміку пасажиропотоку в розрізі годинної активності протягом доби, яка була визначена на основі проведених безготівкових транзакцій за січень 2025 року і за результатами суцільного обстеження пасажирських перевезень, яке було виконане в січні 2024 року.

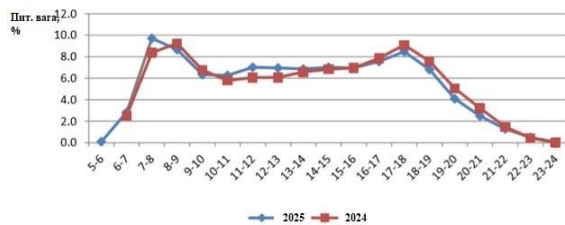


Рис. 2 – Динаміка пасажиропотоку в розрізі годинної активності протягом доби

Аналіз графічних даних свідчить про високу кореляцію між часовим розподілом безготівкових оплат та реальною структурою пасажирських перевезень протягом доби.

Графічна інтерпретація розподілу пасажирських перевезень упродовж доби (рис. 2) базується на поєднанні статистики безготівкових оплат та даних загального моніторингу пасажирських потоків. З графіку можна зробити висновок, що характер розподілу пасажирських потоків за годинами доби, отриманий з транзакцій безготівкового розрахунку, відповідає генеральній сукупності пасажирських кореспонденцій.

На основі множини кореспонденцій N_0 , отриманої в результаті роботи запропонованого алгоритму,

проводиться статистичне оцінювання параметрів генеральної сукупності N . Оцінювання характеристик загального пасажиропотоку здійснюватиметься із застосуванням таких параметрів лінійної апроксимації:

коефіцієнт безготівкового розрахунку:

$$\alpha_T = \frac{R}{N_T}, \quad (5)$$

де R – кількість транзакцій безготівкового розрахунку;

N_T – кількість транспортних кореспонденцій.

Коефіцієнт пересадок:

$$\alpha_{\Pi} = \frac{N_T}{N_{\Pi}}, \quad (6)$$

де N_{Π} – кількість пасажирських кореспонденцій.

Коефіцієнт розпізнаних транзакцій :

$$\alpha_p = \frac{N_T}{R}, \quad (7)$$

де N_T – кількість розпізнаних безготівкових транзакцій, що характеризує обсяг виявлених транспортних кореспонденцій. Для розрахунку коефіцієнта безготівкової оплати α_T використовуються дані, отримані в ході автоматизованого моніторингу пасажирських потоків.

На основі проведеного обстеження добовий обсяг перевезень пасажирів на i -му маршруті визначався за такою залежністю:

$$Q_i = \frac{\sum_j Q_{ij} \cdot Z_i}{Z_i^0}, \quad (8)$$

де Q_{ij} – число пасажирів, що скористалися i -м маршрутом на j -у рейсі обстеження;

Z_i^0 – число виконаних обстежених рейсів за i -м маршрутом;

Z_i – загальна кількість рейсів, виконана за i -м маршрутом.

Вибіркова множина оцінок коефіцієнта безготівкової оплати α_T формувалася як:

$$\alpha_T = \frac{R_i}{Q_i}, \quad (9)$$

де R_i – фактична чисельність безготівкових розрахунків, зафіксована на i -му маршруті в день моніторингу пасажиропотоків.

Цілковито обґрунтованим є твердження, що показник α_T не є константою. У довгостроковій перспективі прогнозується поступове зростання частки безготівкових транзакцій у загальній структурі оплат. Для ідентифікації параметра α_T , окрім вибірових натурних обстежень, доцільно використовувати звітну документацію перевізників щодо пасажиромісткості та фактичного завантаження маршрутів. Таким чином,

базуючись на отриманих коефіцієнтах лінійної апроксимації, запропоновано модель розрахунку параметрів генеральної сукупності пасажирських кореспонденцій. Реалізація розробленого алгоритму дозволяє сформувати вибірку множини поїздок T_0 та пасажирських кореспонденцій H_0 , які репрезентують відповідні генеральні сукупності T та H . При цьому під пасажирською кореспонденцією розуміємо:

$$h_i = [t_1, \dots]. \quad (10)$$

Під час опрацювання масиву транзакцій певна частка транспортних і пасажирських кореспонденцій залишається неідентифікованою. Цей чинник враховується в розрахунках за допомогою коефіцієнта розпізнавання транзакцій α_p .

Розв'язання транспортних задач потребує ідентифікації таких параметрів генеральної сукупності пасажирських кореспонденцій, як обсяги кореспонденцій між вузлами мережі (зупинками або транспортними районами), диференційовані за часовими інтервалами (матриці кореспонденцій), а також потужність потоків, пасажирообіг, кількість перевезених пасажирів і обсяг транспортної роботи. Розрахунок цих показників базується на репрезентативній вибірці з масиву ідентифікованих транспортних або пасажирських зв'язків. Відтак, ключовим завданням є визначення потужності генеральної сукупності на основі наявної вибірки, що реалізується із застосуванням встановлених коефіцієнтів лінійної апроксимації

Формування вибірки для оцінювання параметрів генеральної сукупності пасажирських кореспонденцій здійснюється за допомогою відповідної характеристичної функції. Зокрема, вибіркова сукупність для визначення обсягу перевезень у часовому інтервалі τ визначається умовою $tbi \subset \tau$, що означає належність моменту початку i -ї транспортної кореспонденції до вказаного інтервалу. За таких умов розрахунок кількості перевезених пасажирів за період τ виконується за наступною залежністю:

$$Q_\tau = \frac{|Q_\tau^0|}{\alpha_T \alpha_P}, \quad (11)$$

де $|Q_\tau^0|$ – потужність вибірки транспортних кореспонденцій, ідентифікованих за даними безготівкових транзакцій;

α_P – коефіцієнт розпізнаних транзакцій;

α_T – коефіцієнт безготівкового розрахунку.

Варто підкреслити, що функціональні можливості мови SQL у сучасних реляційних СУБД дозволяють ефективно реалізувати характеристичні функції для формування необхідних підмножин даних. Це значно спрощує процес розрахунку параметрів генеральної сукупності пасажирських кореспонденцій через гнучке налаштування умов вибірки. Як приклад, розглянемо процедуру побудови матриці пасажирських сполучень між вузлами транспортної мережі.

Число пасажирських кореспонденцій між вузлами i та j в проміжку часу τ можна розрахувати:

$$|H_{ij\tau}| = \frac{|H_{ij\tau}^0|}{\alpha_T \alpha_P}, \quad (12)$$

де $|H_{ij\tau}^0|$ – сукупність розпізнаних кореспонденцій між транспортними районами i та j , що зафіксовані в системі безготівкового розрахунку протягом часу τ .

Інформаційною базою для статистичного аналізу слугувала сукупність коефіцієнтів безготівкової оплати проїзду, визначених шляхом автоматизованого обстеження пасажиропотоків. У межах дослідження було сформовано масив даних щодо питомої ваги електронних розрахунків у системі міського громадського транспорту. Сукупність отриманих значень питомої ваги – це значення спостережень x_i (коефіцієнти безготівкового розрахунку за проїзд), де $0,24 \ll x_i \ll 0,45$, а об'єм вибірки складає $n = 122$.

Візуалізація результатів серії вимірювань за допомогою гістограми (рис. 3) дозволяє наочно продемонструвати частотний розподіл отриманих значень досліджуваної величини.

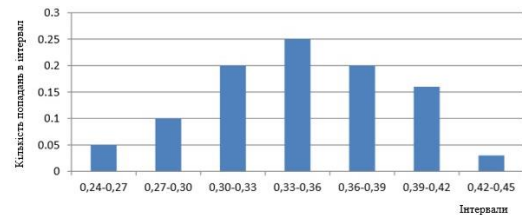


Рис. 3 – Графік експериментальної функції щільності ймовірності

Алгоритм побудови гістограми передбачає поділ усього діапазону значень на рівні інтервали та підрахунок частоти потрапляння вимірюваної величини в кожен із них. На кожному відрізку будується прямокутник, основа якого відповідає ширині інтервалу, а висота – кількості спостережень у ньому. Аналіз конфігурації отриманої гістограми дозволяє зробити висновок про характер розподілу випадкової величини X . Фактично, гістограма є графічним представленням експериментальної функції щільності ймовірності, що за своєю формою наближається до теоретичної кривої нормального розподілу

Графічну інтерпретацію отриманої функції наведено на рис. 4.

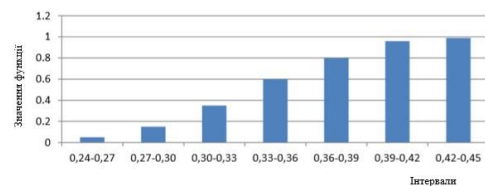


Рис. 4 – Графік емпіричної функції розподілу

Далі необхідно розрахувати параметри вибірки – математичне очікування, дисперсію, середнє квадратичне відхилення. Як репрезентативне значення x_i для кожного з інтервалів обрано його серединну точку (табл. 1). Такий підхід дозволяє перейти від інтервального ряду до дискретного для подальших статистичних розрахунків.

Таблиця 1

Результати розрахунків параметрів вибірки

№	Інтервал	x_i^*	n_i	$x_i n_i$	$(\bar{x} - x_i)^2 n_i$
1	0,24-27	0,255	6	1,53	0,05
2	0,27-30	0,285	12	3,42	0,05
3	0,30-33	0,315	24	7,56	0,03
4	0,33-36	0,345	31	10,70	0,00
5	0,36-39	0,375	25	9,38	0,02
6	0,39-42	0,405	20	8,10	0,06
7	0,42-45	0,435	4	1,74	0,03
		Сума	122	42,42	0,24

Спостережуване значення статистики $\chi^2_{\text{спост}} = 9,1$. Знайдемо критичне значення статистики. Число ступенів свободи $l = 7 - 2 - 1 = 4$. По таблиці розподілів χ^2 при рівні значущості $\alpha = 0,05$ отримаємо: $\chi^2_{\text{кр}}(4; 0,05) = 14,9$. Висновок. Оскільки отримане спостережуване значення статистичного критерію менше критичного значення, $\chi^2_{\text{спост}} = 9,1 < \chi^2_{\text{кр}} = 14,9$, то нульова гіпотеза про нормальний розподіл з параметрами $\mu = 0,35$ і $\sigma = 0,002$ приймається при рівні значущості $\alpha = 0,05$. В результаті проведених теоретичних досліджень можливо побудувати графік теоретичної функції розподілу (рис. 5).

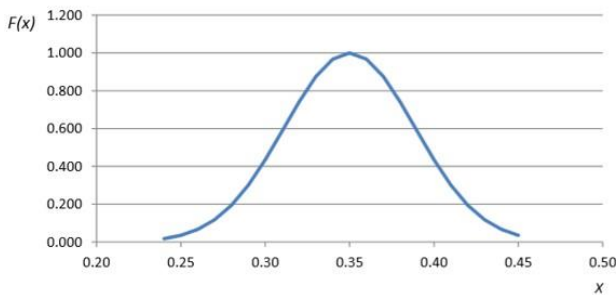


Рис. 5 – Графік емпіричної функції розподілу

Отже, вибіркова сукупність складала 122 виміри автобусних маршрутів. У табл. 2 представлені статистичні параметри оцінки α_T для автобусних перевезень міста Черкаси.

Таблиця 2

Статистичні параметри оцінки α_T для міста Києва

Параметр	Автобус
Дисперсія	0,002
Математичне очікування	0,35
Середнє квадратичне відхилення	0,04
Інтервал (P = 95%)	0,35±0,007

Висновки

Проведені дослідження підтверджують, що ідентифікація закономірностей рухливості населення є фундаментальним аспектом у розв'язанні широкого спектра транспортних та містобудівних задач.

У роботі обґрунтовано методику визначення пасажирських і транспортних кореспонденцій на основі аналізу транзакцій безготівкового розрахунку в муніципальному транспорті.

Розроблений алгоритм ідентифікації поїздок та складних пасажирських сполучень (що охоплюють одну або декілька транспортних ланок) програмно реалізовано в середовищі Delphi із застосуванням реляційної СУБД. Сформовані масиви даних у поєднанні з коефіцієнтами лінійної апроксимації дозволяють масштабувати вибіркові показники до параметрів генеральної сукупності. При цьому процедура виділення необхідних підмножин даних формалізована через відповідні характеристичні функції.

Перелік використаних джерел

- [1] Contactless ICT transaction model of the urban transport service / Pavlović Z., Banjanin M., Vukmirović J., Vukmirović D. *Transport*. 2020. Vol. 35, № 6. Pp. 621–634. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2020.12529>.
- [2] Markowska K., Jamka M. Performing a road transport service on the example of a transportation and forwarding company. *WUT Journal of Transportation Engineering*. 2018. Vol. 120. Pp. 279-286. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.4780>.
- [3] Mogaji E., Nguyen P. Evaluating the emergence of contactless digital payment technology for transportation. *Technological Forecasting and Social Change*. 2024. Vol. 203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123378>.
- [4] Chen S., Yang X. A new public transport payment method based on NFC and QR code. *IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering*, Beijing, China, 11-13 September 2020. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICITE50838.2020.9231356>.
- [5] Determinants of passengers' ticketing channel choice: New evidence of e-payment behaviors from Xian, China / Xiaowei Li et al. *Transport Policy*. 2023. Vol. 140. Pp. 30–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.06.015>.
- [6] Digital payment adoption in public transportation: Mediating role of mode choice segment in developing cities / Wani S. A., Pani A., Mohan R., Bhowmik B. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2025. Vol. 191. Article 104319. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104319>.
- [7] Fraczek B., Urmanek A. Financial inclusion as an important factor influencing digital payments in passenger transport. A case study of EU countries. *Research in Transportation Business and Management*.

2021. Vol. 41. Article 100691. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100691>.
- [8] Cheng Z., Trepanier M., Sun L. Incorporating travel behavior regularity into passenger flow forecasting. arXiv:2004.00992. 2020. Preprint. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.00992>.
- [9] Is not the truth the truth?: Analyzing the Impact of User Validations for Bus In/Out Detection in smartphone-based Surveys / V. Servi et al. arXiv:2202.11961. 2022. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.11961>.
- [10] Lee B., Garn W., Fakhimi M., Ryman-Tubb N. F. Improving public transport through machine learning influence flow analysis (MIFA): Southern England bus case study. *Public Transport*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12469-024-00387-2>.
- [11] Multi-graph convolutional-recurrent neural network (MGC-RNN) for short-term forecasting of transit passenger flow / He Y., Li L., Zhu X., Tsui K. L. arXiv:2107.13226. 2021. Preprint. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.13226>.
- [12] Review of passenger flow modelling approaches based on a bibliometric analysis / Hecht J., Li W., Li Z., Dehbi Y. arXiv:2511.13742. 2025. Preprint. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.13742>.
- [13] Scháno M., Nový J., Dvořáčková A. The Behavioral Impact of public transport unreliability: A Performance indicator based approach. *Transportation research procedia*. 2025. Vol. 91. Pp. 203-210 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.10.027>.
- [14] Шльончак І., Лук'яненко О. Формування альтернативних стратегій управління виробничими процесами автотранспортного підприємства. *Розвиток транспорту*. 2021. Вип. №3(10). С. 71-80. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2021.3-10.06>.
- [15] Тарандушка Л., Шльончак І., Тарандушка І. Оцінка якості обслуговування пасажирів міським транспортом загального користування в м. Черкаси. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36). С. 253-261. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.253-261](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.253-261).
- [16] Шльончак І., Лук'яненко О., Тарандушка І. Аналіз транспортних потоків та прогнозування інтенсивності руху різних видів транспорту на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Черкаси. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36). С. 307-312. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.307-312](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.307-312).

RESEARCH ON PASSENGER FLOWS OF URBAN TRANSPORT ON THE EXAMPLE OF CHERKASY CITY

- Tarandushka L.A.** D.Sc. (Engineering), professor, Cherkassy State Technological University, Cherkassy, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1410-9088>, e-mail: tarandushkal@ukr.net;
- Shlonchak I.A.** PhD (Engineering), associate professor, Cherkassy State Technological University, Cherkassy, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5096-2414>, e-mail: Igor_Shlonchak@ukr.net;
- Murovanyi I.S.** PhD (Engineering), associate professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>, e-mail: Igor_Intu@ukr.net

The paper considers a methodology for determining passenger and transport correspondences based on the analysis of cashless payment transactions for a trip in urban transport. An algorithm for determining passenger trips and passenger correspondences has been developed. The algorithm was formed taking into account the set of tickets (magnetic cards) for cashless passenger payment. The considered algorithm for determining passenger trips (transport correspondences), as well as passenger correspondences that may include several trips, was implemented in the form of a computer program developed in the Delphi programming language using the Microsoft Access relational database management system. It is worth noting that the use of standard software components provides the ability to integrate and use most modern systems without the need for significant modification. As a result of applying the correspondence definition algorithm, a set of correspondences is formed, which is used as a basis for approximating the parameters of the general set of correspondences. It is proven that the share of cashless payments in urban transport corresponds to the normal distribution law. The studies used theoretical methods of scientific research, mathematical modeling methods, and the method of computational experiment. As a result of the research, it was found that determining the patterns of population mobility is a key issue for solving a wide range of transport and urban planning problems. An algorithm for determining passenger trips (transport correspondences) and passenger correspondences (consisting of one or more trips) was developed, implemented in a computer program in the Delphi programming language. As a result of the research, it was found that the patterns of population mobility are a key issue for solving a wide range of transport and urban planning problems.

Keywords: public urban transport; passenger flow assessment methodology; seed correspondence; cashless fare payment; transaction.

References

- [1] Z. Pavlović, M. Banjanin, J. Vukmirović, and D. Vukmirović, "Contactless ICT transaction model of the urban transport service," *Transport*, vol. 35, № 6, pp. 621–634, 2020. doi: [10.3846/transport.2020.12529](https://doi.org/10.3846/transport.2020.12529).
- [2] K. Markowska, and M. Jamka, "Performing a road transport service on the example of a transportation and forwarding company," *WUT Journal of Transportation Engineering*, vol. 120, pp. 279–286, 2018. doi: [10.5604/01.3001.0014.4780](https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.4780).
- [3] E. Mogaji, and P. Nguyen, "Evaluating the emergence of contactless digital payment technology for transportation," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 203, 2024. doi: [10.1016/j.techfore.2024.123378](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123378).
- [4] S. Chen, and X. Yang, "A new public transport payment method based on NFC and QR code," in *Proc. of the IEEE 5th Int. Conf. on Intelligent Transportation Engineering*, Beijing, China, Sept. 11–13, 2020. doi: [10.1109/ICITE50838.2020.9231356](https://doi.org/10.1109/ICITE50838.2020.9231356).
- [5] X. Li, et al., "Determinants of passengers' ticketing channel choice: New evidences of e-payment behaviors from Xian, China," *Transport Policy*, vol. 140, pp. 30–41, 2023. doi: [10.1016/j.tranpol.2023.06.015](https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.06.015).
- [6] S. A. Wani, A. Pani, R. Mohan, and B. Bhowmik, Digital payment adoption in public transportation: "Mediating role of mode choice segment in developing cities," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 191, article 104319, 2025. doi: [10.1016/j.tra.2024.104319](https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104319).
- [7] B. Fraczek, and A. Urmanek, "Financial inclusion as an important factor influencing digital payments in passenger transport. A case study of EU countries," *Research in Transportation Business and Management*, vol. 41, article 100691, 2021. doi: [10.1016/j.rtbm.2021.100691](https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100691).
- [8] Z. Cheng, M. Trepanier, and L. Sun, "Incorporating travel behavior regularity into passenger flow forecasting," 2020, *arXiv:2004.00992*. doi: [10.48550/arXiv.2004.00992](https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.00992).
- [9] V. Servizi et al., "Is not the truth the truth?: Analyzing the Impact of User Validations for Bus In/Out Detection in smartphone-based Surveys," 2022, *arXiv:2202.11961*. doi: [10.48550/arXiv.2202.11961](https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.11961).
- [10] B. Lee, W. Garn, M. Fakhimi, and N. F. Ryman-Tubb, "Improving public transport through machine learning influence flow analysis (MIFA): Southern England bus case study," *Public Transport*, 2025. doi: [10.1007/s12469-024-00387-2](https://doi.org/10.1007/s12469-024-00387-2).
- [11] Y. He, L. Li, X. Zhu, and K. L. Tsui, "Multi-graph convolutional-recurrent neural network (MGC-RNN) for short-term forecasting of transit passenger flow," 2021, *arXiv:2107.13226*. doi: [10.48550/arXiv.2107.13226](https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.13226).
- [12] J. Hecht, W. Li, Z. Li, and Y. Dehbi, "Review of passenger flow modelling approaches based on a bibliometric analysis," 2025, *arXiv:2511.13742*. doi: [10.48550/arXiv.2511.13742](https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.13742).
- [13] M. Scháno, J. Nový, and A. Dvořáčková, "The Behavioral Impact of public transport unreliability: A Performance indicator based approach," *Transportation research procedia*, vol. 91, pp. 203–210, 2025. doi: [10.1016/j.trpro.2025.10.027](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.10.027).
- [14] I. Shlonchak, and O. Lukianchenko, "Formuvannia alternatyvnykh stratehii upravlinnia vyrobnychymy protsesamy avtotransportnoho pidprijemstva" ["Formation of alternative strategies for managing production processes of a motor transport enterprise"], *Rozvytok transportu – Transport Development*, no. 3(10), pp. 71–80, 2021. doi: [10.33082/td.2021.3-10.06](https://doi.org/10.33082/td.2021.3-10.06). (Ukr.)
- [15] L. Tarandushka, I. Shlonchak, and I. Tarandushka, "Otsinka yakosti obsluhovuvannia pasazhyriv miskym transportom zahalnoho korystuvannia v m. Cherkasy" ["Assessment of the quality of passenger service in public urban transport in Cherkasy"], *Tsentrálnoukrajnskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, no. 5(36), pp. 253–261, 2022. doi: [10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.253-261](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.253-261). (Ukr.)
- [16] I. Shlonchak, O. Lukianchenko, and I. Tarandushka, "Analiz transportnykh potokiv ta prohnozuvannia intensyvnosti rukhu riznykh vydiv transportu na prykladi vulychno-dorozhnoi merezhi m. Cherkasy" ["Analysis of transport flows and forecasting traffic intensity of different transport modes on the example of the Cherkasy road network"], *Tsentrálnoukrajnskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, no. 5(36), pp. 307–312, 2022. doi: [10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.307-312](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.307-312). (Ukr.)

Стаття надійшла 22.01.2026

Стаття прийнята 19.02.2026

Стаття опублікована 26.03.2026

Цитуйте цю статтю як: Тарандушка Л. А., Шльончак І. А., Мурований І. С. Дослідження пасажиропотоків міського транспорту на прикладі м. Черкаси. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2026. Вип. 53, том 2. С. 225–232. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.53.2.2026.359962>.