

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.027.5

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.252

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЧАСУ ПРОСТОЮ МАРШРУТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПІД ЧАС ПОСАДКИ ТА ВИСАДКИ ПАСАЖИРІВ

Свічинська О. В., Карпенко В. О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У статті представлено результати дослідження часу простою маршрутних транспортних засобів на зупинках під час посадки та висадки пасажирів. Отримано закономірності розподілу даної величини на реально зібраних даних для автобусів та тролейбусів м. Харків. Перевірено похибку розрахунку пасажиропотоків у випадку врахування часу простою на аналітичній моделі маршрутної мережі.

Ключові слова: час простою, закономірність, посадка-висадка пасажирів, зупиночний пункт, маршрутні транспортні засоби.

Вступ

Керівництво системою перевезення пасажирів по території міста має забезпечувати швидкість пересування пасажирів та регулярність руху маршрутних транспортних засобів (МТЗ); при цьому повинен забезпечуватись достатній рівень комфортності з одночасним раціональним використанням рухомого складу на маршруті. Можливість доступно та якісно виконувати транспортні послуги для пасажирів і є пріоритетною метою транспортної галузі.

Основним фактором, що виділяється при визначенні показника якості транспортних послуг, є час, який витрачає людина на поїзду; який, у свою чергу, залежить від багатьох факторів і в тому числі – від коректності складання розкладу руху на маршруті.

Знаючи складові витрат часу на пересування, можна виділити час простою (ЧП) під посадкою-висадкою пасажирів. Це досить гнучка та непередбачувана величина, однак вона носить суттєвий вплив на результуюче значення витрат у процесі пересування й у значній мірі впливає на формування розкладу руху, а тому потребує моніторингу та вивчення.

Аналіз публікацій

Величина ЧП під посадкою-висадкою є випадковою і досить маловивченою саме для м. Харків. Провівши аналіз публікацій для різних міст і країн, визначено наступне.

Для дослідження ЧП МТЗ під посадкою-висадкою пасажирів на зупиночних пунктах (ЗП) автори [1–4] представляють процес переміщення пасажирів як систему, що склада-

ється із двох підсистем: руху автобусів на перегонах і посадки-висадки пасажирів на ЗП.

В роботі автор [4] приводить закономірності розподілу тривалості посадки і висадки пасажирів на ЗП. Відповідно до результатів його спостережень розподіл часу описується розподілом Ерланга:

$$t_{\text{пр}}^{\text{п-в}} = \frac{\lambda(\lambda \cdot t_{\text{пр}})^k}{k!} \cdot e^{-\lambda \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

де $\lambda = \frac{1}{M(t_{\text{зп}})}$ – величина, обернена статистичному математичному очікуванню ЧП на проміжній зупинці.

Автор відмічає, що і для напружених міських маршрутів розподіл ЧП також у цілому підкорюється закону Ерланга, а числове значення, яке відповідає математичному очікуванню, різниться через відмінність маршрутів і марок МТЗ.

За результатами дослідження [5] ЧП на проміжних зупинках є прямо пропорційним кількості пасажирів, які входять та виходять.

Така закономірність отримана автором у далекому 2002 році та лише на одному виді транспорту – автобусі марки Ікарус. Окрім того, дослідження проводилося у м. Волгоград, яке за чисельністю в половину менше м. Харків. Тому доцільно провести аналогічне дослідження для нашого міста та порівняти отримані результати.

Автори [6, 7] у своїй роботі наводять формулу для визначення загального часу посадки-висадки пасажирів, але без урахування

часу на відкриття та закриття дверей МТЗ:

$$t_{\text{пр}}^{\text{п-в}} = \frac{A_{\text{вв}} + A_{\text{виш}} \cdot t_{\text{п-в}} \cdot k_{\text{нд}}}{N_{\text{МТЗ}} \cdot d}, \quad (2)$$

де $A_{\text{вв}}, A_{\text{виш}}$ – кількість пасажирів, які ввійшли і вийшли, пас./год; $t_{\text{п-в}}$ – час посадки-висадки пасажирів, с; $k_{\text{нд}}$ – коефіцієнт нерівномірності посадки і висадки пасажирів по дверях МТЗ; d – кількість дверей для входу і виходу пасажирів; $N_{\text{МТЗ}}$ – інтенсивність руху МТЗ, авт./год.

Також автори [8, 9] наводять посилання, де вказано тривалість часу стоянки транспортного засобу на ЗП $t_{\text{зп}} = 15\text{--}30$ с без відокремлення часу відкриття і закриття дверей МТЗ.

В іншій роботі [10] час стоянки МТЗ на ЗП включає час на: закриття та відкриття дверей, висадки та посадки пасажирів, час на розгін та уповільнення (прийнято, що він є приблизно однаковим). Автори отримали, що середній час стоянки МТЗ на ЗП дорівнює 33,6 с для досліджуваного маршруту.

В цій же роботі також представлено залежність для визначення часу стоянки МТЗ під час посадки-висадки пасажирів:

$$t_{\text{пр}}^{\text{п-в}} = t_{\text{відк}} + t_{\text{закр}} + t_{\text{пас}} n, \quad (3)$$

де $t_{\text{пр}}^{\text{п-в}}$ – час простою під посадкою або висадкою n пасажирів, с; $t_{\text{відк}}, t_{\text{закр}}$ – час на відкриття і закриття дверей МТЗ відповідно, с; $t_{\text{пас}}$ – час на висадку та посадку одного пасажирів, с; n – кількість пасажирів, чол.

Також із роботи [10] доцільно виділити отримані автором значення середнього часу стоянки під час посадки та висадки одного пасажирів 5,07 с та 5,05 с відповідно.

Автор [10] робить припущення, що час входу та виходу одного пасажирів можна прирівняти та взяти рівним 1,5 с. Аналогічні дослідження проведені й для величини часу відкриття та закриття дверей і становить 1,8 с. Тоді загальний час стоянки транспортного засобу на зупинці складе [10]:

$$t_{\text{пр}}^{\text{п-в}'} = t_{\text{відк}} + t_{\text{закр}} + t_{\text{пас}} n + t_{\text{затр}}, \quad (4)$$

де $t_{\text{затр}}$ – час затримки поміж висадкою та посадкою пасажирів, с.

В результаті спостережень у роботі [9] був отриманий ЧП МТЗ на ЗП під час висадки та посадки одного пасажирів, який дорівнює 8,6 с. Ця величина є дійсною для такого транспортного засобу як маршрутне таксі.

Тобто підтвердилось спостереження робіт [7] та [10], в яких розподіл пасажирів по дверях МТЗ під час висадки і посадки є нерівномірним.

За збільшення потоку пасажирів на вході різниця вирівнюється, і навпаки, в разі зменшення потоку – різниця стає більш помітною. Виходячи з цього, автор [10] пропонує ввести коефіцієнт, який би враховував перевищення часу висадки та посадки через такий нерівномірний розподіл:

$$k_{\text{нер.вих } j} = \frac{\max(N_{\text{вих } ij})}{N_{\text{вих. ср } j}}, \quad (5)$$

$$k_{\text{нер.вх } j} = \frac{\max(N_{\text{вх } ij})}{N_{\text{вх. ср } j}}, \quad (6)$$

де $N_{\text{вих } ij}, N_{\text{вх } ij}$ – кількість пасажирів, що входять і виходять в i -ті подвійні двері; $N_{\text{вих. ср } j}, N_{\text{вх. ср } j}$ – середня кількість пасажирів, що виходять та входять у подвійні двері.

В результаті своїх розрахунків автор отримав, що середнє значення коефіцієнта нерівномірності є відмінним в залежності від типу МТЗ.

За допомогою визначених у [10] залежностей автор прийшов до формування окремих моделей, які визначають тривалість часу на: посадку, стоянку транспортного засобу під час посадки пасажирів, час висадки, час стоянки при висадці, час висадки і посадки, а також час стоянки під час висадки-посадки. Розглянутий підхід є результатом проведеного дослідження у 2013 році у м. Мінськ, яке є трохи більшим за кількістю населення, ніж м. Харків.

Автор [11] проводив дослідження ЧП в очікуванні пасажирів з метою підвищення ефективності функціонування ЗП. Дослідження проводилось у Нижньому Новгороді у 2014 році, досліджувались автобуси марок ПАЗ-3205, ПАЗ-3204. Нижній Новгород є трохи меншим за кількістю населення, ніж м. Харків.

Автор дослідив велику кількість ЗП та відмічає, що ЧП в очікуванні пасажирів на проміжних зупинках спостерігався на 8,7 % від загальної їх кількості [11, 12]. Це не є

великий відсоток, але саме більшість цих ЗП відносяться до основних у місті. Така ситуація викликана конкуренцією, оскільки причиною відхилень стали комерційні МТЗ невеликої місткості.

Автор [13] відмічає, що ЧП під очікуванням пасажира починається з моменту, коли останній пасажир, що знаходився на ЗП, заходив до салону МТЗ, та закінчувався моментом закриття дверей або початком руху МТЗ із зупинки.

Гістограма розподілу додаткового часу в очікуванні пасажира на одному ЗП у вечірній час пік описана експоненціальним розподілом [13].

Зазначається, що пасажиропотік ЗП не впливає прямо на «простій в очікуванні» – впливає сам факт того, що буде здійснюватися простій в очікуванні пасажира чи не буде. Оскільки водії завчасно знають, на якому ЗП пасажиропотік буде більшим, виходячи зі свого досвіду, а тому планують зазначений простій на ньому.

Середня тривалість очікування одного додаткового пасажира склала у проміжку від 30 с до 2 хв. А значить, на досить завантажених зупинках у середньому водій дочекається 2 пасажирів – це невеликий результат.

За отриманими спостереженнями автор отримав регресійну залежність величини простою в очікуванні від наповнення салону:

$$t_{\text{ПвО}} = k(N_{\text{max}} - N), \quad (7)$$

де k – коефіцієнт, що показує збільшення простою в очікуванні на кожного «додаткового» пасажира, с/чол; N_{max} – максимальна наповненість МТЗ.

Окрім зазначеного, моніторинг інформації щодо регламентації ЧП на ЗП дав зрозуміти, що ніякого регламенту на цю величину не має, тому що по своїй суті це є випадкова величина. А отже, це також призводить до виникнення негативних наслідків, які відчуває на собі кожен пасажир: часті простой МТЗ поряд із зупинкою, поки інший транспортний засіб звільнить зупинку, хаотична зупинка МТЗ на ЗП також призведе до незапланованих простоїв для транспорту, що планує робити зупинку наступним.

В роботі [14], як вже зазначалось, встановлено, що тривалість простою автобусів на зупинці піддається опису за законом розподілу Ерланга, а середнє значення ЧП одного МТЗ на зупинці в піковий період знаходиться в межах від 20 с до 25 с. Наведені автором

дані характеризують простої тільки одного виду МТЗ – автобусів і тільки в один характерний період роботи – в години пік.

У роботі [15] запропоновано розділити загальний ЧП МТЗ у зоні зупинки на окремі складові. Так, аналіз отриманих у ході досліджень даних визначив, що близько 60 % (12 с) ЧП складають простой, пов'язані з посадкою-висадкою пасажирів, а залишок в 40 % (8 с) – непродуктивні простой (наприклад, очікування пасажира з відкритими дверями після закінчення основної посадки-висадки, очікування на звільнення зупинки та ін.).

У [15] пораховано втрати пасажирів громадського транспорту від подібних непродуктивних простоїв, які в межах зупинки становитимуть приблизно від 5,5 млн грн. за рік. Також було визначено, що витрати палива в такому випадку складуть понад 75,3 млн грн. на рік для водіїв автобусів, понад 2,4 млн грн. на рік – для водіїв мікроавтобусів, а троллейбуси понесуть понад 30,6 млн грн. за рік витрат електроенергії.

В роботі [12] на основі даних, зібраних у провінції Цзянсу (Китай), аналізується вплив завантаженості автобусів на час посадки і висадки пасажира.

Результати показують, що він залежить від рівня завантаженості МТЗ, коли він є досить великим, і цей вплив не можна ігнорувати. Ці результати корисні для оцінки ЧП ЗП. Також відмічається, що час посадки-висадки є більш чутливим до кількості посадочних пасажирів, ніж до кількості пасажирів, що вийшли.

Щоб розробити узагальнену модель, яку можна використовувати для автобусів різної місткості, автор незалежні змінні нормалізував шляхом ділення їх на місткість автобуса [15].

Аналіз досліджень у роботі [16] показав, що величина ЧП на ЗП істотно не впливає на час руху МТЗ на маршруті, а її скорочення викличе зниження якості перевезення пасажирів за рахунок погіршення умов посадки-висадки пасажирів у МТЗ. Таке пояснення має право на існування, однак це не зменшує важливості продовження дослідження даної величини, оскільки, окрім якості перевезення, існує ще поняття організованості цього процесу, що точно впливає на загальні витрати часу пасажира при пересуванні й економічні втрати.

Також у [16] значення ЧП МТЗ моделюється з огляду на те, що відхилення серед-

нього його значення має нормальний закон розподілу. Але в роботі не представлено даних, що саме за таким розподілом розподілена сама величина.

Таке значення отримане для міста Ростова-Дону і виключно для автобусів ще у 2010 році, тому отримані значення середнього ЧП не можуть бути використані у подальшому дослідженні.

Отже можна дійти наступного висновку. Існуючі дослідження ЧП МТЗ під посадкою-висадкою пасажира на ЗП проводились у різні часи, для різних МТЗ, для різних країн і міст, однак загальної моделі, яка б визначала або давала відповідь про однозначну закономірність розподілу даної величини, не існує. Тому таке дослідження для нашого міста залишається актуальним.

Якщо будуть відомі закономірності зміни будь-яких елементів транспортної системи, в тому числі і зміни ЧП на ЗП, то, застосувавши математичний апарат, стане можливою побудова адекватної прогнозувальної моделі системи організації перевезення та обслуговування пасажирів.

А використання такої моделі дозволить оптимізувати процес перевезення та прогнозувати можливі сценарії розвитку, змінюючи певні параметри перевезення, що є важливим досягненням для вирішення різних проблем функціонування транспортної системи, в тому числі і проблем якості перевезення.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є визначення закономірності зміни ЧП маршрутних транспортних засобів (МТЗ) під посадкою-висадкою пасажира на ЗП.

Для досягнення мети необхідно організувати та провести обстеження з метою фіксації ЧП під час посадки-висадки пасажирів на ЗП міста. Потім визначити закономірності розподілу досліджуваної величини.

Організація та збір вихідних даних

Для вирішення поставленої задачі було розроблено методику збору вихідних даних та спеціальні картки фіксації ЧП МТЗ під посадкою-висадкою пасажира.

Обстеження проводилось на вибіркових маршрутах громадського МТЗ м. Харків. Обліковці у визначений дослідженням час знаходилися на ЗП громадського транспорту або безпосередньо в салоні МТЗ.

Заміри проводилися у різні дні тижня, як у робочі, так і у вихідні дні, для охоплення

максимально різної тривалості даного фактора. Сама фіксація ЧП враховує момент повної зупинки транспортного засобу та відкриття дверей, тривалість посадки-висадки пасажира та закриття дверей. Іноді закриття дверей відбувалось вже в момент руху МТЗ, тоді таймер зупинявся, коли до/з салону зайшов-вийшов останній пасажир.

Обліковець, який знаходився у салоні, мав можливість фіксувати ЧП під посадкою-висадкою пасажира на кожному ЗП всього маршруту.

Обліковець, який перебував на конкретному ЗП, мав можливість фіксувати час простою різних за марками МТЗ, за різними напрямками та одночасно декількох МТЗ, які прибували на ЗП.

В ході фіксації параметра не враховувалась ситуація, коли ЧП дорівнював нулю, тобто коли водій ТЗ не зупинявся на певних зупинках, оскільки не було бажаних здійснити посадку-висадку. Також у в роботі не враховувався ЧП на кінцевих зупинках та зупинках поблизу метро, оскільки його величина є штучно збільшеною водіями та не відображає реального значення досліджуваної величини.

Характеристику проведеного дослідження можна представити наступним переліком.

Охоплені робочі й вихідні дні тижня та такі періоди часу:

- піковий 7:00–10:00;
- міжпіковий період 11:00–16:30;
- вечірній піковий 17:00–18:00.

Досліджені транспортні засоби – тролейбус, автобуси, які рухаються у звичайному режимі, та маршрутні таксі.

Кількість досліджених ЗП по м. Харків становить 70 од. Загальна кількість замірів дорівнює 165.

Отримані закономірності розподілу ЧП МТЗ на ЗП

Спочатку з масиву було видалено дані, які не відповідають поставленій задачі: випадки, коли ЧП МТЗ дорівнював нулю, та дуже великі його значення, спричинені простоем біля метро або на кінцевих зупинках.

Однак у в масиві залишено значення рівні 60–65 с, оскільки в деяких випадках, наприклад, у випадку суміщення зупинки декількох МТЗ, їх ЧП був більший, через неможливість об'їхати попередній засіб, що знаходився попереду, або при штучному чеканні пасажира, який знаходився неподалік зупинки. В результаті залишилось 142 заміри.

Також отриманий масив було розділено на три – окремо тролейбусні, окремо автобусні та загальний масив.

В такому форматі дані були занесені до програмного продукту Statistica.10.0 де і відбувалось моделювання розподілу.

Для масиву даних, який охоплює всі види транспорту, визначено закономірність розподілу ЧП за гамма-розподілом (рис. 1). Отримана закономірність емпіричних даних підтверджується критеріями Колмогорова–Смірнова та хі-квадрат: 0,029 та 2,964 відповідно має досить високий рівень значущості $p=0,564$. При цьому параметри масштабу та форми становлять 8,9 та 2,1 відповідно.

Масив даних, в якому представлено тільки тролейбусний вид транспорту, отримав аналогічну закономірність – за гамма-розподілом (рис. 2). В цьому випадку також зберігається допустима, але трохи нижча закономірність за критеріями Колмогорова–Смірнова та хі-квадрат: 0,079 та 5,47 відповідно. За рівня значущості $p=0,14$ параметри масштабу та форми становлять 7,18 та 2,97 відповідно.

Останнім було перевірено масив даних простою на ЗП для автобусного виду транспорту. І для цього випадку кращим виявився закон гамма-розподілу, але з набагато кращими показниками (рис. 3).

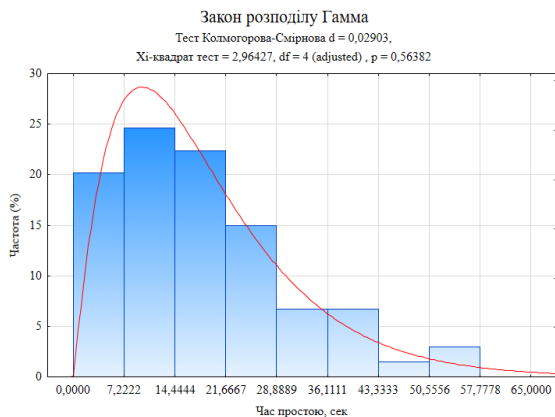


Рис. 1. Закон розподілу ЧП автобусів та тролейбусів на ЗП під час посадки-висадки пасажирів у м. Харків

Так, емпірична закономірність підтверджується значенням критерію Колмогорова–Смірнова, рівним 0,03, та критерієм хі-квадрат: 0,507. Рівень значущості становить $p=0,476$.

Отримані закономірності свідчать, що досліджувана випадкова величина ЧП МТЗ на ЗП найкращим чином описується гамма-розподілом, причому зазначений вид законо-

мірності є однаковим для обох видів транспорту.

Таким чином, застосувавши середнє значення ЧП під час моделювання роботи громадського транспорту у спеціалізованих програмних продуктах, стане можливим суттєво підвищити точність розподілу пасажиропотоків по маршрутній мережі.

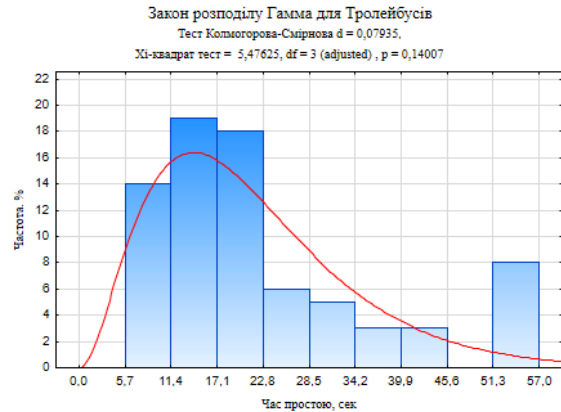


Рис. 2. Закон розподілу ЧП тролейбусів на ЗП під час посадки-висадки пасажирів у м. Харків

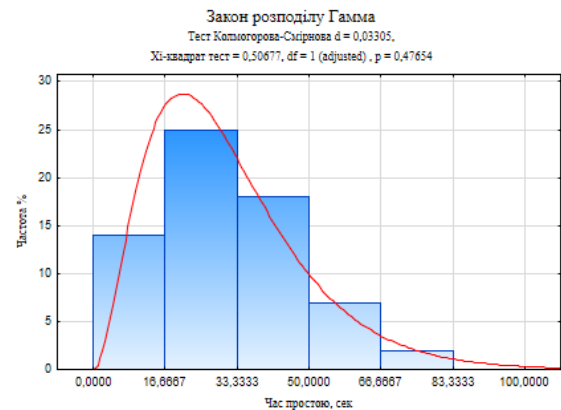


Рис. 3. Закон розподілу ЧП автобусів на ЗП під час посадки-висадки пасажирів у м. Харків

Перевірка похибки розрахунку пасажиропотоків при врахуванні ЧП

Отримавши підтвердження закономірності розподілу ЧП при посадці-висадці пасажирів, стає можливим використання отриманих результатів при розподілі пасажиропотоків по маршрутній мережі міста.

Вирішення цього завдання є можливим з використанням сучасного програмного забезпечення PTV Visum. Для цього у відповідному розділі програми вводиться середнє значення ЧП за даними обстеження. Так, в даній роботі отримано середнє значення ЧП для тролейбусів – 31,58 с, а для автобусного транспорту – 49,79 с.

Оскільки в нашому розпорядженні ще немає адекватної моделі маршрутної мережі для м. Харків, як приклад було обрано модель невеликого міста Нікополь, оскільки в ньому наявні досліджувані види МТЗ.

До параметрів моделювання внесено отримане значення середнього ЧП та здійснено перерахунок пасажиропотоків. Результати такої перевірки занесено до табл. 1, 2.

Таблиця 1 – Значення похибки розрахунку пасажиропотоків без урахування ЧП МТЗ на ЗП

Назва вулиць	Пасажиропотік	Значення без урахування ЧП	Похибка
пр. Трубників	10728	10600	1,2
вул. Електрометалургів	8946	8842	1,2
вул. Першотравнева	3303	3337	1
вул. Електрометалургів (на мосту)	6152	6079	1,2
вул. Героїв Чорнобиля	4770	4445	6,8
Середнє значення похибки			2,28

Таблиця 2 – Значення похибки розрахунку пасажиропотоків з урахуванням ЧП МТЗ на ЗП

Назва вулиць	Пасажиропотік факт.	З урахуванням ЧП ТЗ	Похибка
пр. Трубників	10728	10815	0,81
вул. Електрометалургів	8947	8862	0,95
вул. Першотравнева	3284	3264	0,61
вул. Електрометалургів (на мосту)	6152	6093	0,96
вул. Героїв Чорнобиля	4770	4465	6,39
Середнє значення похибки			1,944

Навіть на прикладі невеликого за розмірами міста відчутно суттєву різницю у перерозподілі пасажиропотоків за значенням середньої похибки розрахунку. Так, вона зменшилася на 14,9 % відносно розрахунків, де ЧП на зупинках не враховувався – з 2,28 % до 1,944 %.

Висновки

Проведене дослідження з фіксації трива-

лості ЧП МТЗ на ЗП дозволило зібрати достатню кількість даних для визначення закону розподілу даної величини.

В результаті моделювання визначено, що емпірична закономірність розподілу ЧП підкорюється гамма-розподілу та є однаковою для всіх досліджених видів транспорту.

Отримана закономірність розподілу ЧП дозволяє отримати більш точні результати моделювання пасажиропотоків по маршрутній мережі міст, підвищуючи точність розрахунку майже на 14,9 % відносно розрахунків, де ЧП не враховувався, – з 2,28 % до 1,944 %.

Такий результат підтверджує той факт, що вивчення закономірностей розподілу ЧП МТЗ на ЗП є актуальною задачею, вирішення якої дозволить підвищити результати моделювання пасажиропотоків на маршрутних мережах міст.

Література

1. Самойлович Т. Н. Длительность операций при стоянке маршрутных пассажирских транспортных средств для высадки и посадки пассажиров / Т. Н. Самойлович // *Наука и техника* : международный научно-технический журнал. – 2013. – № 3. – С. 48–55.
2. Димова И. П. Повышение эффективности функционирования остановочных пунктов городского пассажирского транспорта и движения транспортных средств в зоне их влияния: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / И. П. Димова. – Тюмень, 2009. – 167 с.
3. Липенков А.В. Исследование простоев маршрутных транспортных средств в ожидании дополнительных пассажиров на остановочных пунктах / Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева // *Вестник ИрГТУ* №8, Россия, г. Нижний Новгород, 2014 – С.160–166.
4. Липенков А.В. О результатах комплексного исследования остановочных пунктов городского пассажирского транспорта в г. Нижнем Новгороде // *Мир транспорта и технологических машин* №4.– Россия, г. Нижний Новгород, 2012. – С. 93–102.
5. Аземша С.А. Социально-экономическая оценка временных потерь пассажиров маршрутных транспортных средств в городском регулярном сообщении / С.А. Аземша, С.В. Скирковский, В.Н. Стукачев // *Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов»*. Минск: БНТУ, 2010. – С. 64–69.
6. Исхаков М.М. Человеческий фактор в организации работы маршрутных транспортных средств на остановочных пунктах /

- М.М. Исхаков, В.И. Рассоха // *Вестник Оренбургского государственного университета* № 1, 2008. – С. 144–149.
7. Липенков А.В. О подходах к моделированию времени простоя автобусов на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта / А.В. Липенков О.А. Маслова, М.Е. Елисеев // *Мир транспорта и технологических машин* №3. 2012.– С.84–93
 8. Аземша С.А. Снижение задержек транспортных средств на остановочных пунктах при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении / С.А. Аземша, С.В. Скирковский, С.Л. Лапский, В.Н. Стукачев // *Вестник Белорус. гос. ун. трансп. «Наука и транспорт»* № 2, 2009. — С. 21–24.
 9. Alhadidi T. Modeling bus passenger boarding/alighting times: A stochastic approach / T. Alhadidi, H.A. Rakha // *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* №2. 2019. – 11 p.
 10. Білоус А. Б., Аналіз методів вибору контрольних точок маршруту громадського транспорту для визначення моменту корекції розкладу руху / А. Б. Білоус, Г. В. Півторак // *Науково-виробничий журнал* 2017.–№1–2.– С. 249–250.
 11. Levinson H.S. Analyzing transit travel time performance / H.S. Levinson, E. Mazloumi, G. Rose, G. Currie, M. Sarvi // *An integrated framework to predict bus travel time and its variability using traffic flow data.* – *Transp. Syst.* №15 (2), 2011.– P. 75–90.
 12. Meng Q. Bus dwell time estimation at bus bays: a probabilistic approach / Q. Meng, X. Qu // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 2013.– №36 – P. 61–71.
 13. Rashidi S. Bus dwell time modeling using gene expression programming / S. Rashidi, P. Ranjitkar // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2015.– P. 478–489.
 14. Rajbhandari R. Estimation of bus dwell times with automatic passenger counter information / R. Rajbhandari, S.I. Chien, J.R. Daniel // *Transportation Research* №1841 (1), 2003.– P. 120–127.
 15. Аханова А.С. Экономические потери от простоев общественного транспорта в зоне остановочного пункта / А.С. Аханова // *Евразийский научный журнал* 2016.– №4. – С. 1–3.
 16. Singh K. Bootstrap: A Statistical Method / K. Singh, M. Xie.– Rutgers University, USA, 2008.– P. 184–192.
- № 3. – S. 48–55. ISSN 2414-0392 (Online) [in Russian].
2. Dimova I. P. Povyshenie effektivnosti funkczionirovaniya ostanovochnykh punktov gorodskogo passazhirskogo transporta i dvizheniya transportnykh sredstv v zone ikh vliyaniya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / I. P. Dimova. – Tyumen, 2009. – 167 s [in Russian].
 3. Lipenkov A.V. Issledovanie prostoev marshrutnykh transportnykh sredstv v ozhidanii dopolnitelnykh passazhirov na ostanovochnykh punktakh Nizhegorodskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. R.E. Alekseeva // *Vestnik IrGTU* №8, Rossiya, g. Nizhnij Novgorod, 2014 – S.160–166 [in Russian].
 4. Lipenkov A.V. O rezultatakh kompleksnogo issledovaniya ostanovochnykh punktov gorodskogo passazhirskogo transporta v Nizhnem Novgorode // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* №4.– Rossiya, g. Nizhnij Novgorod, 2012. – S. 93–102. [in Russian]
 5. Azemsha S.A. Soczialnoekonomicheskaya ocenka vremennykh poter passazhirov marshrutnykh transportnykh sredstv v gorodskom reguljarnom soobshhenii / S.A. Azemsha, S.V. Skirkovskij, V.N. Stukachev // *Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sovershenstvovanie oganizaczii dorozhnogo dvizheniya i perevozok passazhirov i gruzov».* Minsk: BNTU, 2010. – S. 64–69 [in Russian].
 6. Iskhakov M.M. Chelovecheskij faktor v oganizaczii raboty marshrutnykh transportnykh sredstv na ostanovochnykh punktakh / M.M. Iskhakov, V.I. Rassokha // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* № 1, 2008. – S. 144–149 [in Russian].
 7. Lipenkov A.V. O podkhodakh k modelirovaniyu vremeni prostoya avtobusov na ostanovochnykh punktakh gorodskogo passazhirskogo transporta / A.V. Lipenkov, O.A. Maslova, M.E. Eliseev // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* №3. 2012.– S.84–93 [in Russian].
 8. Azemsha S.A. Snizhenie zaderzhek transportnykh sredstv na ostanovochnykh punktakh pri gorodskikh perevozkakh passazhirov v reguljarnom soobshhenii / S.A. Azemsha, S.V. Skirkovskij, S.L. Lapskij, V.N. Stukachev // *Vestnik Belorus. gos. un. трансп. «Наука и транспорт»* № 2, 2009. — С. 21–24 [in Russian].
 9. Alhadidi T. Modeling bus passenger boarding/alighting times: A stochastic approach / T. Alhadidi, H.A. Rakha // *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 2019. – №2. – 11 p.
 10. Bilous A. B., Analiz metodiv viboru kontrolnykh tochok marshrutu gromadskogo transportu dlya viznachennya momentu korekcziji rozkladu rukhu / A. B. Bilous, G. V. Pivtorak // *Naukovo-*

References

1. Samojlovich T. N. Dlitelnost operaczij pri stoyanke marshrutnykh passazhirskikh transportnykh sredstv dlya vysadki i posadki passazhirov / T. N. Samojlovich // *Nauka i tekhnika : mezhdunarodnyj nauchno-tekhnicheskij zhurnal.* – 2013. –

- virobничij zhurnal* №1-2, 2017.– S. 249–250 [in Ukrainian].
11. Levinson H.S. Analyzing transit travel time performance / H.S. Levinson, E. Mazloumi, G. Rose, G. Currie, M. Sarvi // *An integrated framework to predict bus travel time and its variability using traffic flow data.* – Transp. Syst. №15 (2), 2011.– P. 75–90.
 12. Meng Q. Bus dwell time estimation at bus bays: a probabilistic approach / Q. Meng, X. Qu // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* №36, 2013.– P. 61–71.
 13. Rashidi S. Bus dwell time modeling using gene expression programming / S. Rashidi, P. Ranjitkar // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2015.– P. 478–489.
 14. Rajbhandari R. Estimation of bus dwell times with automatic passenger counter information / R. Rajbhandari, S.I. Chien, J.R. Daniel // *Transportation Research* №1841 (1), 2003.– P. 120–127.
 15. Akhanova A.S. Ekonomicheskie poteri ot prostoev obshhestvennogo transporta v zone ostanovochnogo punkta / A.S. Akhanova // *Evrazijskij nauchnyj zhurnal* №4, 2016.– S. 1-3.
 16. Singh K. Bootstrap: A Statistical Method / K. Singh, M. Xie.– Rutgers University, USA, 2008.– P. 184-192.

Свiчинська Ольга Володимирiвна¹, к.т.н., доцент каф. транспортних систем i логiстики, тел. +38 050-993-19-97, svichinskayaolga@gmail.com, **Карпенко Володимир Олександрович**², д.т.н., проф. каф. деталей машин i теорiї механiзмiв i машин, тел. +380509386755, 56vak56@gmail.com
^{1,2}Харкiвський нацiональний автомобiльно-дорожний унiверситет, 61002, Україна, м. Харкiв, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Studying the regularities in public transport vehicle dwell time required for passenger boarding and deboarding

Abstract. Problem. The review of the literature devoted to the research of public transport vehicle (PTV) dwell time required for passenger boarding-deboarding at a stop confirms the importance of taking this time into account when modelling passenger transportation. The data about the dwell time were collected in different time periods for different PTVs in various cities and countries. Thus, there is no general model allowing to define the distribution

parameters of dwell time variable and answer the question on the regularities in time values. So, the research of the PTV dwell time at the public transport stops in Kharkiv remains actual. **Goal.** The search of the regularities in transport system performance indicators including PTV dwell time at a stop will allow to apply relevant mathematical methods for the development of the forecast models which are valuable in the field of organization of passenger transportation and servicing. **Methodology.** The developed methodology to collect data about PTV dwell time at the stops will allow receiving high-quality survey data. The designed survey sheets enable a surveyor to record all needed information and prepare it for processing. The collected data will allow to define the distribution of the PTV dwell time at a stop. **Results.** The conducted PTV dwell time survey allowed to collect the sufficient amount of data to estimate the distribution of this variable. During the research, it was determined that the empirical dwell time distribution can be well described with the theoretical gamma distribution. The latter distribution appeared to be applicable for all surveyed PTVs. **Originality.** The defined distribution of the PTV dwell time at a stop for passenger boarding-deboarding allows receiving the results of passenger flows modelling which are more precise compared to the modelling with no dwell time consideration. The use of the dwell time regularities in the procedure of passenger flows assignment results in the increased precision of flow volumes estimation by up to 14.9 % – from 2.28 % to 1.94 %. **Practical value.** The received results support the fact that the research of PTV dwell time at a stop is actual, and the solution of the task of dwell time distribution estimation will make it possible to improve passenger flows modelling in public transport route systems.

Key words: public transport, route system, dwell time for passenger boarding-deboarding, distribution of the dwell time, passenger flows.

Svichynska Olha, Ph.D., Associate Professor of Transport Systems and Logistics Department, tel. +38 050-993-19-97, svichinskayaolga@gmail.com, **Karpenko Volodymyr**, DSc, Professor of Machine Components and Theory of Machines and Mechanisms Department, tel. +380509386755, 56vak56@gmail.com
 Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudroho street, Kharkiv, 61002, Ukraine.