

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЧАСУ ПЕРЕБУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У ЗУПИННОМУ ПУНКТІ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА РІВЕНЬ КОНФЛІКТНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ МАРШРУТНОГО ПОТОКУ

Вдовиченко В. О.

Об'єктом дослідження виступає вплив часу перебування транспортних засобів у зупинному пункті на показники рівня конфліктності взаємодії маршрутного потоку. В якості керованого параметру, що визначає рівень резерву пропускної спроможності зупинного пункту та відтворює характеристичний вплив на конфліктність взаємодії, виділено час додаткового сервісного простою транспортних засобів. В ході дослідження використовувалося імітаційне моделювання та статистична обробка отриманих результатів, що дозволило встановити типові види закономірностей для зупинних пунктів з різною інтенсивністю вхідного маршрутного потоку. Встановлено, що для зупинних пунктів з низькою та середньою інтенсивністю (до 40 авт/год) резерв пропускної спроможності має зворотню лінійну залежність від часу сервісного простою, а для пунктів з високою інтенсивністю (понад 40 авт/год) – експоненціальну. Зміна резерву пропускної спроможності за рахунок встановлення раціональної тривалості сервісного простою дозволяє впливати на кількість конфліктних ситуацій та тривалість знаходження у черзі. Це дає можливість визначити її допустимі значення для відповідного рівня інтенсивності маршрутного потоку. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що додатковий сервісний простій для зупинного пункту з інтенсивністю до 40 авт/год є допустимим тривалістю до 40 с. При впровадженні понад 125 с – у 71,2 % вхідного потоку буде спостерігатися конфліктні ситуації. З позиції мінімізації конфліктності взаємодії для зупинних пунктів з вхідною інтенсивністю маршрутного потоку понад 40 авт/год впровадження додаткового сервісного простою є зовсім не можливим. Встановленні залежності є методологічною основою для формування елементів системи підтримки прийняття управлінських рішень на основі аналізу впливу часу простою транспортних засобів на конфліктність взаємодії маршрутного потоку. Вони вносять певну впорядкованість у процеси планування роботи об'єктів пасажирської інфраструктури, дозволяють систематизувати їхні сервісно-ресурсні параметри та сприяють підвищенню безпеки транспортного обслуговування пасажирів.

Ключові слова: міський пасажирський транспорт, зупинний пункт, час простою, кількість конфліктних ситуацій.

1. Вступ

Завдання підвищення безпеки міського пасажирського транспорту (МПТ) потребує впровадження комплексного підходу до ліквідації умов ускладнення

реалізації технологічних операцій взаємодії всіх суб'єктів транспортного процесу. Окрім вирішення завдань удосконалення руху по вулично-дорожній мережі важливу роль у забезпеченні безпеки транспортного процесу на МПТ відіграє організація роботи об'єктів пасажирської транспортної інфраструктури, серед яких провідну роль займають зупинні пункти [1]. Аналіз технологічного процесу роботи рухомого складу показав, що існуючі підходи до організації взаємодії суб'єктів маршрутного потоку в зупинних пунктах МПТ мають ряд недоліків, пов'язаних з відсутністю чіткого планування та контролю за часом простою транспортних засобів в зупинних пунктах під посадкою-висадкою пасажирів [2]. Довготривале перебування транспортних засобів у зупинному пункті призводить до його перевантаження, знижує пропускну спроможність та є джерелом часткового або повного блокування руху по прилеглих ділянках вулично-дорожньої мережі [3]. Такий стан організації є недопустимим з точки зору забезпечення міжрівневої узгодженості параметрів роботи МПТ [4] та повинен розглядатися, як передумова виникнення ризику дорожньо-транспортної пригоди. Ідентифікація конфлікту взаємодії маршрутного потоку проводиться на основі встановлення відповідності кількості транспортних засобів, що одночасно знаходяться в зупинному пункті та його місткості. Ситуація, при якій кількість маршрутних транспортних засобів перевищує їх допустиму (нормативну) місткість є конфліктом взаємодії. Кожна конфліктна ситуація характеризується непродуктивними затримками рухомого складу, погіршенням умов безпеки руху та є потенційним джерелом виникнення аварійної події [5]. Однією з головних причин виникнення конфліктних ситуацій є відсутність чіткого розуміння впливу тривалості простою транспортних засобів в зупинних пунктах на рівень конфліктності [6]. Додатковий простій, що застосовується водіями для накопичення пасажирів у значній мірі усугубляє організаційні недоліки функціонування маршрутних мереж та є однією з головних причин перевантаження зупинних пунктів. Серед способів зниження рівня конфліктності руху в зоні зупинних пунктів поширення набули методи архітектурно-планувального удосконалення [7, 8]. А також підходи до раціоналізації розміщення маршрутів між місцями обслуговування [9, 10]. Однак, впровадження таких підходів на практиці значно обмежується наявним територіальним простором, що не дає можливість їх застосування в умовах існуючої пасажирської інфраструктури без значної реконструкції. Використання методів раціонального планування часу простою дає можливість встановити допустимі параметри технологічних параметрів роботи рухомого складу, що забезпечують зниження рівня конфліктності руху в зоні зупинних пунктів. Отже, *об'єктом дослідження* виступає вплив часу перебування транспортних засобів у зупинному пункті на показники рівня конфліктності взаємодії маршрутного потоку. *Метою дослідження* є встановлення характеристичного впливу тривалості часу простою транспортних засобів у зупинних пунктах на технологічні показники, що визначають рівень конфліктності взаємодії суб'єктів маршрутного потоку.

2. Методика проведення досліджень

Методологічною основою встановлення впливу тривалості перебування транспортних засобів у зупиночному пункті на рівень конфліктності взаємодії є імітаційне моделювання технологічного процесу. Імітаційна модель дозволяє в межах експериментальних досліджень встановити сукупність взаємопов'язаних значень показників взаємодії маршрутного потоку, що характеризують рівень її конфліктності. До загальної структури імітаційної моделі процесу перебування маршрутних транспортних засобів в зупинному пункті входять модулі генерації моментів їх прибуття, генерації пасажирообміну, блоки аналітичних розрахунків часових параметрів та показників оцінки рівня конфліктності взаємодії. На рис. 1 представлена послідовність реалізації етапів імітаційного моделювання при встановленні впливу часу перебування на рівень конфліктності.

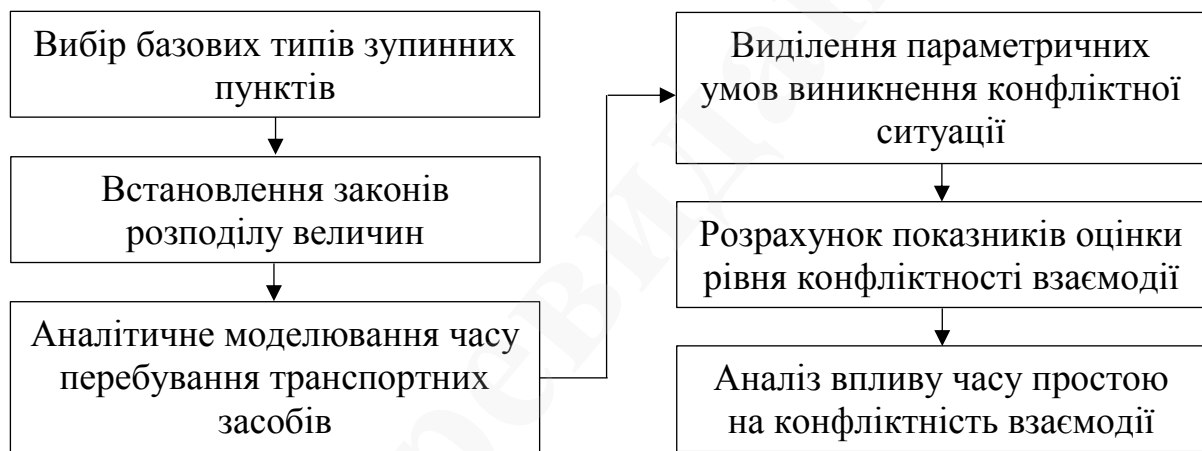


Рис. 1. Послідовність реалізації етапів імітаційного моделювання

Впровадження елементів управління процесами взаємодії МПТ та їх адаптація до реальних умов потребує використання об'єктивної інформації про параметри формування маршрутного потоку в межах зупинних пунктів. Складність цього процесу обумовлюється стохастичністю їх зміни та необхідністю обліку особливостей для різних типів зупинних пунктів з різною інтенсивністю вхідного маршрутного потоку. В умовах обмеженої класифікації зупинних пунктів та відсутності їх типового розподілу за величиною вхідного маршрутного потоку можливо застосувати в якості критерію їх розподілу градацію, що наведена в ДБН В.2.3-5:2018 [11]. Відповідно до цього стандарту зупинні пункти в залежності від інтенсивності вхідного маршрутного потоку можуть бути розподілені на два базових типи:

- 1) з низькою та середньою інтенсивністю (до 40 авт/год);
- 2) з високою інтенсивністю (понад 40 авт/год).

Для проведення аналізу розподілу зупинних пунктів за виділеними типами був проведений аналіз параметрів формування маршрутних потоків в ряді транспортно-пересадочних вузлів міст України: Харкова, Кривого Рогу, Херсона, Слов'янська. Для проведення експериментальних досліджень в якості базових прототипів були обрані два зупинних пункти: «ст. м. Героїв Праці» м. Харків (50.024616, 36.334937) та «вул. Залізнична» м. Херсон (46.650216,

32.597849). Збір первинної інформації про параметри вхідного маршрутного потоку, елементів простою та пасажирообмін зупинних пунктів проводився за допомогою відеофіксації з подальшою обробкою результатів. Періодом обстеження виступав ранковий піковий період (з 7 до 8 години), під час якого спостерігається найбільше завантаження зупинних пунктів. Загальна кількість первинних натурних спостережень в цих зупинних пунктах склала 603 прибуття транспортних засобів. У подальшому на їх основі були встановлені середні значення параметрів та визначені закони розподілу випадкових величин. Характеристика зупинних пунктів та параметрів вхідного маршрутного потоку наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика базових зупинних пунктів

Показник	«ст. м. Героїв Праці»	«вул. Залізнична»
Кількість місць обслуговування	2	2
Кількість маршрутів взаємодії	9	18
Інтенсивність вхідного маршрутного потоку, авт/год	26	72
Амплітуда зміни інтервалу прибуття транспортних засобів, хв	3,8–7,5	1,2–4,3
Закон розподілу інтервалу прибуття транспортних засобів по маршрутах	нормальний	нормальний
Середній час маневрування при заїзді, с	14,8	18,2
Середній час маневрування при виїзді, с	11,7	12,5
Амплітуда зміни пасажирообміну, пас.	5–26	2–18
Середній час висадки пасажирів, с	5,6	7,9
Середній час посадки пасажирів, с	10,4	14,2

До загальної структури операцій, що відбуваються з транспортним засобом та визначають тривалість його перебування у зупинному пункті відносяться:

- очікування в черзі;
- маневрування при подачі та виїзді;
- відкриття/закриття дверей;
- простій під час виходу та входу пасажирів;
- додатковий сервісний простій для очікування пасажирів.

Функціональний стан зупинного пункту характеризується типом операцій, що відбуваються зі суб'єктами маршрутного потоку у часі та описується хронологічною послідовністю їх зміни. При встановленні конфліктності взаємодії виділяється два типи операцій: нормальні та непродуктивні. Фактичний час перебування у зупинному пункті розподіляється на технологічну, непродуктивну та сервісну складові. До непродуктивної складової входить простій у черзі перед зупинним пунктом, що виникає через конфліктні ситуації. Сервісна складова містить у собі додатковий простій,

спрямований на очікування та накопичення пасажирів у салоні. Його значення встановлюється, як планове або може мати спонтанний характер. Відсутність нормування цього часу поряд з нераціональним плануванням зупинних пунктів є основною причиною виникнення конфліктних ситуацій. До технологічної складової відносяться всі інші види операцій. Її тривалість залежить від умов руху в зоні зупинного пункту, середнього часу висадки-посадки пасажирів та пасажирообміну. Для встановлення тривалості часу перебування транспортних засобів у зупинних пунктах використані аналітичні моделі [12].

Особливістю даного дослідження є його цільова орієнтація на встановлення закономірності зміни значень показників, що відтворюють рівень конфліктності взаємодії маршрутного потоку шляхом обліку рівня резерву пропускної спроможності зупинного пункту, випадкового характеру формування пасажирообміну та моментів прибуття транспортних засобів. Використання рівня резерву пропускної спроможності в якості вхідної величин для встановлення зміни рівня конфліктності дозволяє врахувати тривалості технологічних операцій для різних маршрутів. Його значення розраховується за формулою:

$$k_h^r(t) = 1 - \frac{\lambda_{sp}^t(t)}{n_{sp} \cdot t}, \quad (1)$$

де $\lambda_{sp}^t(t)$ – сумарна тривалість технологічного простою всіх транспортних засобів, що прибувають у розрахунковому періоді t , с; n_{sp} – кількість місць обслуговування; t – тривалість розрахункового періоду, с.

Характеристичною складовою розрахункового періоду t є моменти часу τ , що є його найменшою неподільною частиною та приймаються рівними 1 с. Для опису динаміки зміни стану суб'єктів взаємодії у часі використана матрична форма опису, в якій відповідні елементи представляються у вигляді масиву моментних значень типів операцій (нормальний або конфліктний стан). Процедура встановлення типу операції передбачає фіксацію у кожен момент часу τ відповідного виду дій (маневрування, висадка, посадка, сервісний простій, очікування у черзі). В залежності від наявності конфліктної ситуації у момент прибуття транспортних засобів τ визначається масив станів суб'єктів вхідного маршрутного потоку. Параметром, який характеризує конфліктний стан, є загальний час перебування транспортних засобів у черзі:

$$T_{rsp}^{st}(t) = \sum_{i=1}^{r_{sp}} \sum_{j=1}^t \tau_{stij}^r, \quad (2)$$

де τ_{stij}^r – приналежність j -го моменту часу i -го маршруту до конфліктного стану; r_{sp} – кількість маршрутів, що проходять через зупинний пункт.

Питома вага часу черги транспортних засобів у зупинному пункті встановлюється за формулою:

$$\rho_{sp}^q(t) = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (1: n_{spq}^{\tau_i} > 0; 0: n_{spq}^{\tau_i} \leq 0). \quad (3)$$

Час тривалості конфліктних ситуацій в зоні зупинного пункту:

$$t_{sp}^l(t) = \sum_{i=1}^t \max(0, n_{spa}^{\tau_i} - (n_{sp} - n_{sp_s}^{\tau_i})), \quad (4)$$

де $n_{spa}^{\tau_i}$ – кількість транспортних засобів, що прибувають у зупинний пункт в момент часу τ_i ; $n_{sp_s}^{\tau_i}$ – кількість транспортних засобів, що знаходяться в стані технологічного простою в момент часу τ_i .

Процедура імітаційного моделювання реалізована за допомогою програми ModellingSP, що розроблена на кафедрі транспортних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (Україна). В ході імітаційного моделювання для виділених зупинних пунктів було проведено 84 серії дослідів, в яких змодельована ситуація прибуття 2684 транспортних засобів.

3. Результати досліджень та обговорення

Отримані результати сукупності проведених імітаційних експериментів дозволяють встановити характер впливу тривалості додаткового сервісного простою на рівень конфліктності взаємодії, як основної варіативної складової частини часу перебування транспортних засобів в зупинному пункті. Для реалізації процедури аналізу результатів експериментальних досліджень доцільно використовувати наочно-графічне представлення. В якості базової величини, що встановлює рівень резерву пропускної спроможності зупинного пункту використовується середня тривалість сервісного простою транспортних засобів. На рис. 2 наведено графіки зміни резерву пропускної спроможності зупинних пунктів «ст. м. Героїв Праці» та «вул. Залізнична».

В якості показників оцінювання конфліктності взаємодії маршрутного потоку виступає загальна тривалість простою транспортних засобів у черзі та кількість конфліктних ситуацій. Для аналізу впливу рівня резервування пропускної спроможності зупинного пункту на параметри конфліктності взаємодії побудовані базові графіки (рис. 3, 4).

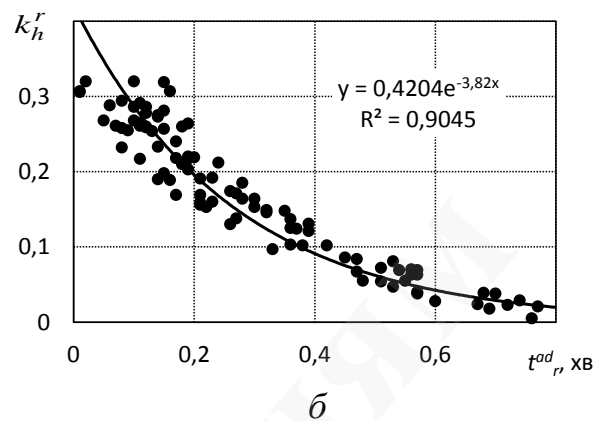
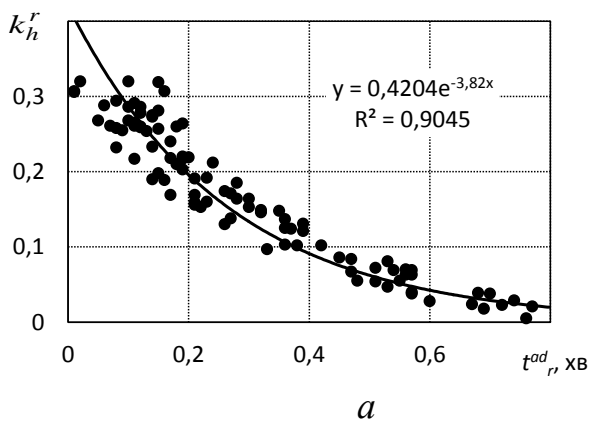


Рис. 2. Вплив сервісного простою на резерв пропускної спроможності зупинних пунктів: *a* – «вул. Залізнична»; *б* – «ст. м. Героїв Праці»

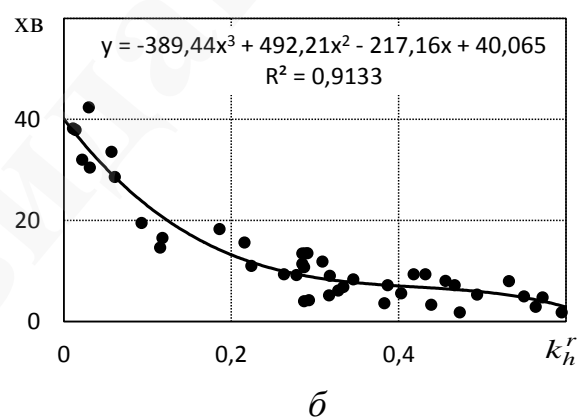
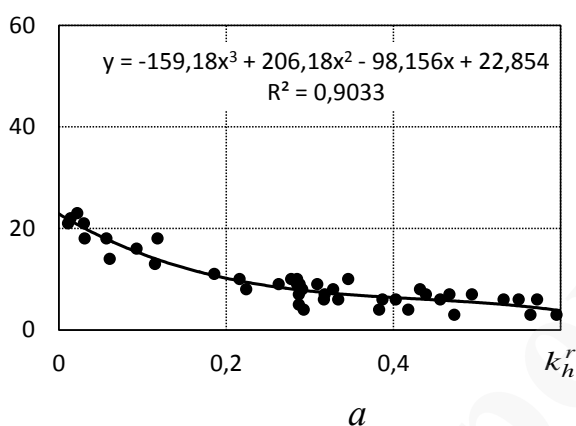


Рис. 3. Вплив резерву пропускної спроможності зупинного пункту «ст. м. Героїв Праці» на показники конфліктності взаємодії: *a* – загальна тривалість простою у черзі; *б* – кількість конфліктних ситуацій

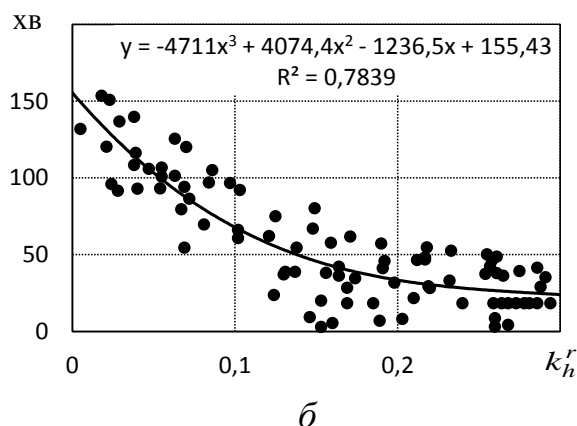
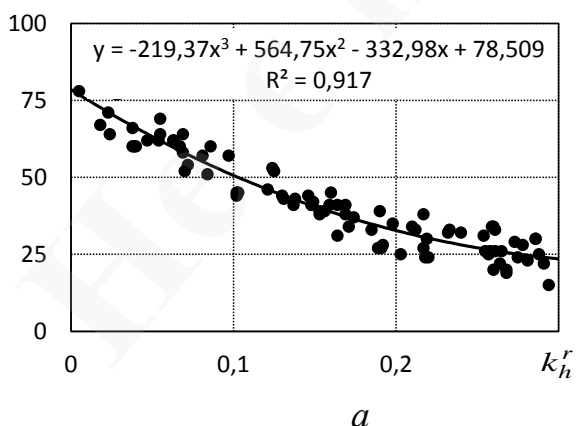


Рис. 4. Вплив резерву пропускної спроможності зупинного пункту «вул. Залізнична» на показники конфліктності взаємодії: *a* – загальна тривалість простою у черзі; *б* – кількість конфліктних ситуацій

Вплив сервісного простою на резерв пропускної спроможності проявляється через збільшення рівня завантаження зупинного пункту. Для зупинного пункту з інтенсивністю вхідного маршрутного потоку до 40 авт/год

цей вплив описується лінійною залежністю, а з інтенсивністю понад 40 авт/год – експоненціальною залежністю. Такі тенденції пояснюються тим, що в умовах високого завантаження відбувається стрімке накопичення транспортних засобів в зоні зупинного пункту, що викликане конфліктними ситуаціями та чергами. Для «ст. м. Героїв Праці» максимально можливим значенням сервісного простою (t_s) є 2,1 хв. Для «ст. м. Героїв Праці» зниження резерву пропускної спроможності з 0,6 до 0,4 (при збільшенні t_s до 40 с) призводить до збільшення конфліктних ситуацій на 2 од. (з 4 од. до 6 од.) та загального часу простою у черзі на 5,7 хв (з 1,8 хв до 7,5 хв). Подальше зниження резерву до 0,2 ($t_s = 80$ с) призводить до збільшення конфліктних ситуацій на 5 од. (з 6 од. до 11 од.) та загального часу простою у черзі на 7,2 хв (з 7,5 хв до 14,7 хв). Повна ліквідація резерву (при $t_s > 125$ с) призведе до збільшення конфліктних ситуацій до 23 од. (71,2 % від вхідного потоку) та загального часу простою у черзі до 41 хв. У зупинному пункті «вул. Залізнична» вплив резерву пропускної спроможності на якісні показники взаємодії має більш виражений характер. Це пояснюється високим рівнем інтенсивності вхідного маршрутного потоку. Зниження резерву пропускної спроможності з 0,3 до 0,2 (при збільшенні t_s до 15 с) призводить до збільшення конфліктних ситуацій на 11 од. (з 22 од. до 33 од.), а загального часу простою у черзі – на 13,5 хв (з 24,1 хв до 37,5 хв). У разі зниження резерву пропускної спроможності до 0,1 (при $t_s = 25$ с) відбувається збільшення конфліктних ситуацій на 17 од. (з 33 од. до 50 од.), а загального часу простою у черзі – на 31,7 хв (з 37,5 хв до 69,2 хв). При ліквідації резерву (при $t_s > 50$ с) кількість конфліктних ситуацій зростає до 78 од. (100 % від вхідного потоку), а загальний сумарний час простою у черзі до 153,5 хв.

4. Висновки

У ході дослідження показано, що зниження рівня конфліктності взаємодії суб'єктів маршрутного потоку в межах інфраструктурних об'єктів МПТ забезпечується інваріантністю процесу функціонування зупинних пунктів шляхом забезпечення необхідного рівня резерву їхньої пропускної спроможності. Основним керованим елементом впливу на рівень резерву пропускної спроможності зупинного пункту є тривалість перебування транспортних засобів, яка змінюється в залежності від встановленого часу додаткового сервісного простою. Встановлено, що для зупинних пунктів з низькою та середньою інтенсивністю (до 40 авт/год) резерв пропускної спроможності має зворотню лінійну залежність від часу сервісного простою, а для пунктів з високою інтенсивністю (понад 40 авт/год) – експоненціальну. Зміна резерву пропускної спроможності, що реалізується шляхом встановлення відповідної тривалості сервісного простою дає можливість впливати на кількість конфліктних ситуацій, тривалість простою у черзі, чим дозволяє знизити ризик настання аварійної ситуації. Для зупинного пункту з інтенсивністю до 40 авт/год допустимим є додатковий сервісний простій

тривалістю до 40 с. При впровадженні понад 125 с – у 71,2 % вхідного потоку буде спостерігатися конфліктні ситуації. При вхідній інтенсивності понад 40 авт/год впровадження додаткового сервісного простою є зовсім не доцільним з позиції мінімізації конфліктності взаємодії. Встановленні залежності є методологічною основою аналізу впливу часу простою транспортних засобів на конфліктність взаємодії маршрутного потоку. Вони вносять певну впорядкованість у процеси планування та управління роботою МПТ, дозволяють систематизувати їхні сервісно-ресурсні параметри та сприяють підвищенню якості транспортного обслуговування пасажирів.

Література

1. Rodrigue, J.-P. (1999). Globalization and the synchronization of transport terminals. *Journal of Transport Geography*, 7 (4), 255–261. doi: [http://doi.org/10.1016/s0966-6923\(99\)00018-6](http://doi.org/10.1016/s0966-6923(99)00018-6)
2. Vdovychenko, V. (2017). Influence of reserve of carrying capacity of stopping points on the time idle parameters of passenger transport vehicles. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (2 (39)), 69–75. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.123604>
3. Lipenkov, A. V., Kuzmin, N. A. (2015). Issledovanie poter vremeni ot vzaimnykh pomekh mezhdru avtobusami na ostanovochnykh punktakh. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 3, 84–95.
4. Vdovychenko, V., Nagorny, Y. (2016). Formation of methodological levels of assessing city public passenger transport efficiency. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3 (81)), 44–51. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71687>
5. Lipenkov, A. V., Kuzmin, N. A. (2015). Opredelenie dopustimogo urovnia intensivnosti dvizheniia gorodskikh avtobusov pri izvestnoi propusknoi sposobnosti ostanovochnogo punkta. *Intellekt. Innovacii. Investicii*, 3, 97–102.
6. Ingvardson, J. B., Nielsen, O. A., Raveau, S., Nielsen, B. F. (2018). Passenger arrival and waiting time distributions dependent on train service frequency and station characteristics: A smart card data analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 90, 292–306. doi: <http://doi.org/10.1016/j.trc.2018.03.006>
7. Azarenkova, Z. V. (2011). Planirovochnaia organizaciia transportno-peresadochnykh uzlov. *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*, 1, 76–80.
8. Zedgenizov, A. V. (2008). Povyszenie effektivnosti funkcionirovaniia ostanovochnykh punktov gorodskogo passazhirskogo transporta. *Vestnik IrGTU*, 3 (35), 121–123.
9. Wei, Z. H., Cai-Liang, J. (2005). Theoretical analysis of the interchange passengers in urban transport terminals. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 10, 23–30.
10. Vdovychenko, V. O. (2017). Rozpodil marshrutiv mizh zupynochnymy punktamy transportno-peresadochnoho terminalu miskoho hromadskoho pasazhyrskoho transportu. *Komunalne hospodarstvo mist*, 139, 33–38.
11. DBN V. 2.3-5: 2018 *Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv* (2018). Kyiv, 61. Available at: [http://kbu.org.ua/assets/app/documents/75\(1\).1.pdf](http://kbu.org.ua/assets/app/documents/75(1).1.pdf)
12. Gorbachev, P. F., Makarichev, O. V., Chizhik, V. M. (2013). Ocenka vremeni ozhidaniia pri razlichnykh sposobakh organizacii dvizheniia transportnykh sredstv na marshrute. *Avtomobilnii transport*, 33, 82–86.