

ВПЛИВ РЕЗЕРВУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТИВ НА ЧАСОВІ ПАРАМЕТРИ ПРОСТОЮ ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Вдовиченко В. О.

1. Вступ

Сьогодні в умовах стрімкого розвитку урбанізації міст дуже гостро стоять питання забезпечення якості транспортного обслуговування населення. Сучасне місто перетворилося у велику територіальну структуру, де переміщення населення стає довготривалим та незручним процесом, який займає значну частину щоденного часу. Вирішення завдань, спрямованих на зниження тривалості транспортних переміщень населення, сьогодні є одними з основоположних принципів формування підвищення якості транспортного сервісу та в значній мірі визначає умови соціально-маркетингового сприйняття транспорту населенням. У структурі міського громадського пасажирського транспорту (МГПТ) значну роль займають транспортно-пересадочні вузли (ТПВ), які відіграють роль базового каркасного елемента його маршрутної мережі. У межах ТПВ відбуваються пересадочні процеси, які є складовою частиною загального циклу переміщення пасажирів. Скорочення часу знаходження пасажирів у ТПВ реалізується за рахунок створення в них ефективних умов техніко-технологічної взаємодії суб'єктів маршрутної мережі МГПТ та забезпечує зниження непродуктивних простоїв транспортних засобів (ТЗ). Базовим елементом ТПВ, де безпосередньо відбувається технологічна взаємодія суб'єктів, є зупиночні пункти (ЗП). Ліквідація непродуктивних простоїв ТЗ в межах ЗП досягається створенням відповідних ресурсних умов їх роботи, які повинні адекватно поглинати дестабілізуючі некеровані впливи вхідного маршрутного потоку. Визначення впливу рівня пропускної здатності ЗП на тривалість простою ТЗ та їх функціональний стан дозволяє обґрунтувати раціональні межі ресурсних умов та є визначальним чинником у формуванні ефективної взаємодії суб'єктів у просторі ТПВ.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Технологічний процес роботи маршрутів МГПТ передбачає виконання сукупності основних та допоміжних операцій. До основних операцій, які реалізуються на маршрутах, відноситься рух транспортних засобів по ділянках мережі. Основні технологічні операції не можуть бути відокремлені від реалізації допоміжних процесів, які у функціональному середовищі представлені сукупністю технологічно необхідних простоїв транспортних засобів для посадки-висадки пасажирів. Загальною параметричною характеристикою, яка впливає на ефективність реалізації технологічного процесу перевезення пасажирів на маршруті є час рейсу. Він складається з тривалості основних та допоміжних операцій. Аналіз простоїв ТЗ на окремих маршрутах м. Харкова показав, що в реальних умовах тривалість фактичних простоїв на ЗП складає до 40 % від часу рейсу. Це призводить до значного зниження фактичної провізної можливості

маршрутів та обмежує можливість повної реалізації їх потенціалу. За таких умов транспортні підприємства вимушені компенсувати втрату провізних можливостей шляхом залучення додаткової кількості транспортних засобів, що стає передумовою зниження ресурсної ефективності їх роботи. Основним джерелом збільшення тривалості простоїв ТЗ в ЗП є непродуктивні простоя, які виникають в результаті неефективної організації взаємодії в ТПВ, де перетинається значна кількість маршрутів. Усунення непродуктивних простоїв транспортних засобів в ТПВ може бути реалізовано за рахунок створення відповідних резервних можливостей пропускної здатності ЗП, які мають призначення для компенсації негативного впливу чинників дестабілізації роботи МГПТ.

Об'єктом дослідження є процес функціонування зупиночного пункту в межах ТПВ МГПТ. Відповідність потужності вхідного маршрутного потоку пропускної здатності ЗП визначає рівень його резервного забезпечення та безпосередньо впливає на ймовірність виникнення непродуктивних простоїв ТЗ в ТПВ. Важливим етапом створення умов ефективної взаємодії суб'єктів у ТПВ є визначення впливу зон раціональних параметрів ресурсного забезпечення ЗП на фактичну тривалість часу простою ТЗ. Обґрунтування їх впливу на рівень зміни фактичного часу простою ТЗ в умовах стохастичного характеру вхідного потоку вимагає проведення відповідних досліджень, спрямованих на встановлення характеристичної залежності «рівень ресурсу пропускної здатності ЗП – фактичний час простою ТЗ». Така залежність дозволяє сформулювати техніко-технологічні вимоги до розподілу маршрутів між ЗП ТПВ та визначити їх фактичний функціональний стан відносно умов стабілізації технологічних процесів роботи МГПТ.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є встановлення закономірностей зміни коефіцієнту відповідності часу простою ТЗ в залежності від рівня ресурсів пропускної здатності ЗП.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- 1. На основі виділеного контурного зв'язку формалізувати складові частини моделі визначення часових параметрів простою ТЗ у ЗП.*
- 2. Експериментальним шляхом встановити характеристичні області впливу ресурсного забезпечення ЗП на рівень відповідності часу простою ТЗ.*

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Дослідження процесів функціонування МГПТ з позицій скорочення часу простою транспортних засобів МГПТ на ЗП представляє науково-практичний інтерес. На основі проведеного літературного аналізу можна провести розподіл підходів до удосконалення роботи ЗП за видом та умовами використання керуючих дій щодо зниження часу простою ТЗ, а саме:

- вибір раціональної кількості та розташування зупиночних пунктів [1, 2];
- забезпечення відповідності фактичної інтенсивності руху маршрутного транспорту пропускній здатності ЗП [3–6];
- координація часу обслуговування транспортних засобів у ЗП [7–10].

Вибір раціональної кількості ЗП та їх розташування спрямоване на забезпечення зниження конфліктності руху ТЗ. У роботі [1] автором розглядається

задача розосередження розташування зупиночних пунктів, виходячи з умови забезпечення мінімального часу пересадки пасажирів між маршрутами та об'єктами тяжіння пасажиропотоків. Використання в якості критерію оцінки часу пересадки пасажирів відображає загальні принципи удосконалення МГПТ, але не дозволяє в повній мірі оцінити тривалість простою та не відображає причинно-наслідковий зв'язок впливу пропускнуої здатності ЗП на час простою ТЗ. При такому підході основним механізмом управління тривалістю простою ТЗ в ТПВ виступає кількість ЗП, яка в умовах існуючих територіальних просторів не завжди може бути збільшена. Виходячи з виділених недоліків можна зробити висновок, що така форма використання керуючого впливу на тривалість простою ТЗ у ЗП не може бути застосована в межах наявних ресурсів ТПВ.

В роботі [2] запропоновано розглядати розміщення та планувальну структуру ТПВ з позиції представлення його як центру концентрації пасажирів. Виділені умови ефективного функціонування та обґрунтовані етапи планування структури. Представлений підхід має концептуальну форму, в якому розгляд технологічних процесів не наведено.

Обґрунтування використання в якості параметру впливу на тривалість часу простою ТЗ на ЗП інтенсивності вхідного маршрутного потоку реалізовано у роботі [3]. Авторами описані залежності впливу рівня відповідності вхідного маршрутного потоку пропускнуої здатності ЗП на рівень виникнення черги. На основі проведених аналітичних досліджень встановлено, що допустимий рівень завантаження ЗП не повинен перевищувати 70 % від його пропускнуої здатності. Представлені залежності підтверджують доцільність обліку впливу рівня ресурсного забезпечення ЗП як ключової характеристики формування часу непродуктивного простою ТЗ. Однак визначенні закономірності мають аналітичну форму опису та в повній мірі не враховують характер стохастичності вхідного маршрутного потоку.

У роботі [4] авторами розглядається вплив простою транспортних засобів у зупиночних пунктах на продуктивність їх роботи. Встановлено, що дієвим інструментом підвищення результативності рухомого складу є скорочення часу простою. Для реалізації цього пропонується використання різних типів систем транзиту. Основним недоліком як у попередній роботі є те, що представлені моделі мають аналітичний вид.

Дієвим механізмом зниження часу простою в ЗП є координація прибуття транспортних засобів у ТПВ. При такому способі керуючим параметром є моменти прибуття ТЗ у ТПВ. У роботі [8] пропонується реалізувати алгоритмічну процедуру координації прибуття транспортних засобів у ЗП на основі обліку допустимих періодів їх обслуговування. Основним недоліком такого підходу є його технологічна обмеженість, яка полягає у можливості отримання реального результату лише в межах області допустимої тривалості часу обслуговування ТЗ. У разі перевищення часу технологічного простою ТЗ в ЗП координація стає не можливою.

У роботі [9] представлений алгоритм синхронізації руху рухомого складу на основі формування суміжних пар рейсів. Алгоритм має своєю метою забезпечення чіткого графіку прибуття транспортних засобів суміжних маршрутів у зупиночні пункти. В якості основного критерію виступає умова дотримання необхідного інтервалу руху по суміжним маршрутам. Використання єдиного ін-

тервалу руху призводить до необхідності корегування часу рейсу, що може негативно відобразитися на продуктивності ТЗ.

У роботі [11] для синхронізації руху використовуються моделі прогнозування часу прибуття ТЗ у ЗП. В основу прогнозних значень покладені залежності відхилення часу прибуття, характер яких описується логонормальним законом розподілу. Для забезпечення зниження часу пересадки пасажирів в прогнозованих умовах використовується корегування кількості рухомого складу. Збільшення кількості ТЗ позитивно сприяє зниженню часу пересадки пасажирів, але обов'язково призводить до зростання ресурсної ємкості перевезень.

Враховуючи виділені недоліки існуючих підходів виникає необхідність у проведенні досліджень, спрямованих на виявлення закономірностей впливу ресурсного забезпечення ЗП на тривалість простою ТЗ. У межах таких досліджень необхідно забезпечити облік стохастичних умов формування потоку обслуговування та виділити допустимі зони ресурсного забезпечення ЗП як чинника стабілізації роботи ТПВ.

5. Методи дослідження

Технологічну взаємодію в умовах функціонування ТПВ можна представити у вигляді структурної моделі, яка складається зі сукупності елементів, суб'єктів та контуру їх взаємозв'язків. Узагальнена структура елементів ТПВ представлена зонами обслуговування безрельсового та рельсового транспорту, в яких розташовані сукупності зупиночних пунктів SPt_n , станцій міського транспорту позаземного сполучення SB_n та станцій внеміського пасажирського сполучення ET_n . Зупиночний пункт має відповідну кількість постів обслуговування N_{SPt} , де одночасно можуть знаходитися ТЗ, що прибувають до нього. До зон обслуговування наземного транспорту прибувають транспортні засоби відповідних маршрутів МГПТ R_n , які розглядаються в якості базових суб'єктів вхідного потоку. Кожне прибуття ТЗ в ТПВ характеризується сукупністю Pv_R , складові частини якої відображають техніко-технологічні параметри впливу на тривалість їх технологічного простою в ЗП:

$$Pv_i^R = \{q_i, \gamma_i, p_i, \omega_i\}, \quad (1)$$

де q_i – місткість ТЗ, пас.; γ_i – рівень наповнення ТЗ; p_i – пасажирообмін ТЗ в ТПВ, пас.; ω_i – середній час посадки (висадки) пасажирів, с.

У залежності від розподілу маршрутів за ЗП в них формуються пред'явлені сумарні потоки замовлень λ_{SPt} . Основною технологічною характеристикою потоку замовлень у ЗП є сумарна тривалість планового простою ТЗ у періоді t :

$$\lambda_{SPt}(t) = \sum_{i=1}^N \xi_i, \quad (2)$$

де ξ_i – час планового технологічного простою ТЗ на ЗП, с; N – кількість рейсів, що прибувають у ЗП протягом періоду t .

В якості обслуговуючого потоку μ_{SPt} у ЗП виступає його пропускна здатність, яка визначається кількістю постів обслуговування N_{SPt} та тривалістю періоду t . Співвідношення потоку замовлень у ЗП до пропозиції визначає рівень його завантаження:

$$\rho_{SPt}(t) = \frac{\lambda_{SPt}(t)}{N_{SPt} \cdot t}. \quad (3)$$

ТЗ після завершення технологічних операцій виїжджають з ТПВ з відповідним значенням параметрів P_{XR} , які сформовані на основі зміни рівня їх заповнення, який досягається реалізацією пасажирообміну в ТПВ. У межах ТПВ відбувається переміщення пасажирів ρ_{SPti-j} , що формуються за рахунок пасажиропотоків при прибутті ТЗ всіх видів транспорту та підходу пасажирів до ЗП з прилеглої території. Контур зв'язків моделі ТПВ представлений на рис. 1.

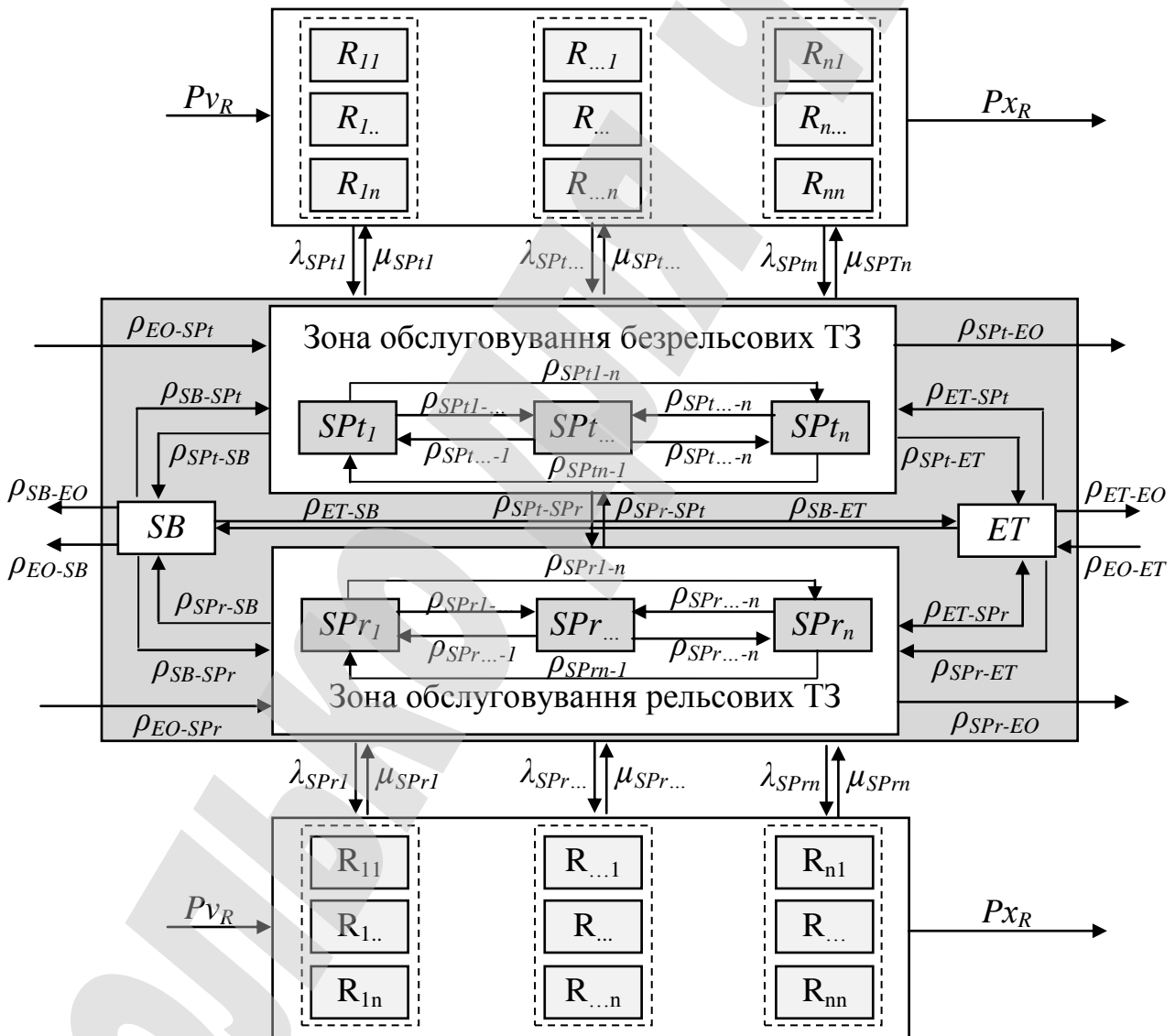


Рис. 1. Контур зв'язків структурної моделі транспортно-пересадочного вузла

Виходячи зі складу структурної моделі основним функціональним об'єктом ТПВ є ЗП, який може бути представлений в якості його основної ти-

пової частини. Зміна стану ЗП відбувається на основі наявності в її територіальних межах конфліктної ситуації між прибуваючими ТЗ. Відповідно до умов стабілізації роботи ТПВ можна виділити наступні типи станів ЗП, які можуть виникнути при прибутті ТЗ: вільний, конфліктний без черги, конфліктний з чергою. Передумовами виникнення конфліктних ситуацій у ЗП є:

- керовані чинники: нераціональний розподіл маршрутів між ЗП ТПВ;
- некеровані чинники: коливання рейсового пасажирообміну, рівень заповнення ТЗ, випадковий характер зміни інтервалу прибуття ТЗ, викликаний нестабільністю дорожньо-транспортних умов руху по вулично-дорожнім ділянкам маршрутів.

Розподіл маршрутів між ЗП повинен базуватися на основі обліку значень сумарного вхідного потоку λ_{SPt} та забезпечувати такий рівень їх завантаження, при якому досягається стабілізація їх роботи. Варіанти розподілу маршрутів між ЗП можуть розглядатися як сукупність стратегій техніко-технологічного управління роботою ТПВ. Кожен варіант розподілу маршрутів між ЗП призводить до відповідних рівнів його завантаження та планового резерву його пропускної здатності. Виділивши параметри некерованих чинників через випадкові величини та визначивши умови формування резерву пропускної здатності ЗП в якості механізму управління роботою ТПВ можна сформулювати загальний опис проблемної ситуації:

$$Z : K \times \Lambda \rightarrow A(E), \quad (4)$$

де K – множина стратегій розподілу маршрутів МПТТ між ЗП, яка визначає рівень його завантаження та резерв пропускної здатності;

Λ – множина значень некерованих чинників, що характеризують прибуття та час знаходження ТЗ в ТПВ;

E – множина можливої оцінки результатів, які відображають стан ЗП;

$A(E)$ – множина показників оцінки часу знаходження ТЗ на ЗП;

Z – відтворення, яке ставить у відповідність множині стратегій K та чинників впливу Λ множину показників результатів $A(E)$.

Проблемна ситуація полягає у виборі такого резерву пропускної здатності ЗП, який забезпечує відповідний її рівень функції переваги. Функція переваги відображає ступінь відповідності фактичного часу простою ТЗ на ЗП до технологічного. Величина технологічного простою визначається виходячи з розрахункової загальної тривалості сукупності елементарних операцій в ТПВ. Оцінити перевагу стратегії можна за допомогою коефіцієнту відповідності часу простою ТЗ в ЗП:

$$K_{\xi}(t) = \frac{\xi_s(t)}{\xi_k(t)} \rightarrow \max, \quad (5)$$

де $\xi_s(t)$ – сумарний технологічний час простою ТЗ в ЗП, с; $\xi_k(t)$ – сумарний фактичний час простою ТЗ в ЗП, с; N – кількість рейсів, що прибули на ЗП протягом періоду t .

Представлений вид показника оцінки переваги стратегії відповідає соціально-маркетинговим принципам оцінки якості транспортного сервісу та за своєю суттю відображає розрив між маркетинговою потребою та технологічною пропозицією, наданою транспортом. Виходячи з умов організації руху по маршруту, маневрування ТЗ при подачі на ЗП, параметрів пасажирообміну та характеристик тривалості посадкових операцій визначається необхідний технологічний час знаходження ТЗ в ЗП:

$$\xi_s(t) = \sum_{i=1}^N (t_{mi} + \omega_i \cdot \max(q_i \cdot (1 - \gamma_i); p_i) + t_{ai}), \quad (6)$$

де t_{mi} – час маневрування при подачі i -го ТЗ на ЗП, с; t_{ai} – час додаткового планового простою i -го ТЗ в ЗП, с.

У разі виникнення конфліктних ситуацій в ЗП відбувається збільшення часу фактичного простою ТЗ:

$$\xi_k(t) = \xi_s(t) + \xi_q(t), \quad (7)$$

де ξ_q – сумарний час знаходження ТЗ в черзі перед ЗП, с.

Рациональна стратегія розподілу маршрутів передбачає впровадження такого режиму руху та планового простою ТЗ, при якому забезпечується відповідний рівень резерву пропускної здатності ЗП. Рівень резерву пропускної здатності ЗП відображає питому вагу планованого вільного часу його роботи та має своєю метою створення через компенсаторні дії умов утримання негативних наслідків чинників його дестабілізації. Рівень резерву пропускної здатності ЗП у періоді t розраховується виходячи з його планового завантаження:

$$K_R^{st}(t) = 1 - \rho_{SPt}(t). \quad (8)$$

Облік сумарного часу простоїв ТЗ в ЗП реалізується шляхом імітаційного моделювання. В його основу покладені принципи дискретно-подієвого моделювання, які передбачають представлення процесів у вигляді їх хронологічної послідовності. Характеристичною складовою періоду t є моменти часу τ , які є його найменшою неподільною частиною. Складові моделі функціонування ЗП змінюються за часом і можуть бути представлені у вигляді масиву моментальних значень x_τ в періоді x_t . Загальна сукупність пред'явлених вимог до обслуговування ТЗ у відповідні моменти часу формує загальний масив пред'явлених потреб у ЗП:

$$R = \begin{bmatrix} R_{11i}^{\tau_1} & R_{12i}^{\tau_2} & R_{1...i}^{\tau...} & R_{1ni}^{\tau_n} \\ R_{..i}^{\tau_1} & R_{..i}^{\tau_2} & R_{..i}^{\tau...} & R_{...ni}^{\tau_n} \\ R_{n1i}^{\tau_1} & R_{n2i}^{\tau_2} & R_{n...i}^{\tau...} & R_{ki}^{\tau_n} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де $R_{ki}^{\tau_1}$ – замовлення ТЗ i -го рейсу k -го маршруту в момент часу τ_1 .

Вертикальна розмірність масиву R визначається кількістю маршрутів, що закріплені за ЗП, горизонтальна – загальною кількістю моментів часу у періоді роботи ТПВ. У залежності від типу дій, які відбуваються з ТЗ в ТПВ, в кожен момент часу τ формується масив операцій:

$$O = \begin{bmatrix} O_{R1i}^{\tau_1} & O_{R1i}^{\tau_2} & O_{R1\dots}^{\tau\dots} & O_{R1m}^{\tau_n} \\ O_{R\dots i}^{\tau_1} & O_{R\dots i}^{\tau_2} & O_{R\dots\dots}^{\tau\dots} & O_{R\dots m}^{\tau_n} \\ O_{Rk_i}^{\tau_1} & O_{Rk_i}^{\tau_2} & O_{Rk\dots}^{\tau\dots} & O_{Rk_m}^{\tau_n} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

де $O_{Rk_i}^{\tau_1}$ – терм приналежності до виконання відповідної технологічної операції з ТЗ i -го рейсу k -го маршруту в момент часу τ_1 .

Стан прибуваючого в ТПВ ТЗ кожного маршруту оцінюється наявністю конфліктної ситуації на ЗП в цей момент часу. На основі оцінки типу стану ЗП під час прибуття ТЗ формується масив станів рейсів маршрутів:

$$S = \begin{bmatrix} S_{m1}^{\tau_1} & S_{m1}^{\tau_2} & S_{m1}^{\tau\dots} & S_{m1}^{\tau_n} \\ S_{m\dots}^{\tau_1} & S_{m\dots}^{\tau_2} & S_{m\dots}^{\tau\dots} & S_{m\dots}^{\tau_n} \\ S_{mk}^{\tau_1} & S_{mk}^{\tau_2} & S_{mk}^{\tau\dots} & S_{mk}^{\tau_n} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

де $S_{mk}^{\tau_1}$ – стан ТЗ i -го рейсу k -го маршруту в момент часу τ_1 .

Загальний час знаходження ТЗ у черзі можна визначити виходячи з тривалості моментів конфліктних станів маршрутів у періоді:

$$\xi_q(t) = \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^t \tau_{st_{ij}}, \quad (12)$$

де τ_{st_i} – приналежність i -го моменту часу конфліктному стану.

Встановлення характеристичного впливу параметрів рівня резерву пропускної здатності ЗП на коефіцієнт відповідності часу обслуговування визначає зони їх раціонального значення та є базою для формування раціональної структури розподілу маршрутів між ЗП. В умовах випадкової зміни інтервалів прибуття ТЗ та їх вхідних характеристик пошук такої залежності може бути реалізований в рамках експериментальних досліджень.

6. Результати дослідження

На основі виділеного контуру зв'язків та розроблених аналітичних залежностей часових параметрів простою ТЗ в ЗП створений відповідний розрахунковий модуль імітаційної моделі функціонування ТПВ. Умовою проведення ек-

спериментальних досліджень є визначення параметрів зміни випадкових величин, які відображають зовнішній вплив на умови обслуговування ТЗ. До таких параметрів відносяться інтервал прибуття ТЗ, відхилення від нього, рівень наповнення ТЗ, кількість пасажирів, що виконують пересадку. На основі проведення натурних спостережень на ЗП «Ст. м. проспект Гагаріна» ТПВ «Левада» (49.981225, 36.241933) для періоду з 17 до 18 годин встановлені параметри потоків замовлень та характер зміни випадкових величин (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри зміни випадкових величин

Параметр	Закон розподілу	Математичне очікування	Діапазон зміни	
			Min	Max
Інтервал прибуття ТЗ, хв	Логнормальний	1,8	0,9	5,4
Рівень наповнення ТЗ транзитних маршрутів	Гама-розподіл	0,658	0,318	1,107
Пасажирообмін ТЗ транзитних маршрутів, пас	Логнормальний	9,5	4	19
Пасажирообмін ТЗ початкових маршрутів, пас	Логнормальний	29,7	18	62
Час посадки (висадки) пасажирів, с	Гама-розподіл	2,5	1,2	6,8

Діапазон зміни рівня ресурсів пропускної здатності ЗП забезпечується змінною кількістю постів обслуговування та часом додаткового планового простою ТЗ. Для встановлення закономірності впливу ресурсного забезпечення ЗП на рівень відповідності часу обслуговування проведені відповідні цикли розрахункових дослідів, які передбачають у періоді тривалістю однієї години проведення однієї серії дослідів. Всього було проведено 38 серій дослідів. На основі проведених дослідів встановлені відповідні розподіли коефіцієнту відповідності часу простою ТЗ в залежності від рівня ресурсного забезпечення ЗП (рис. 2).

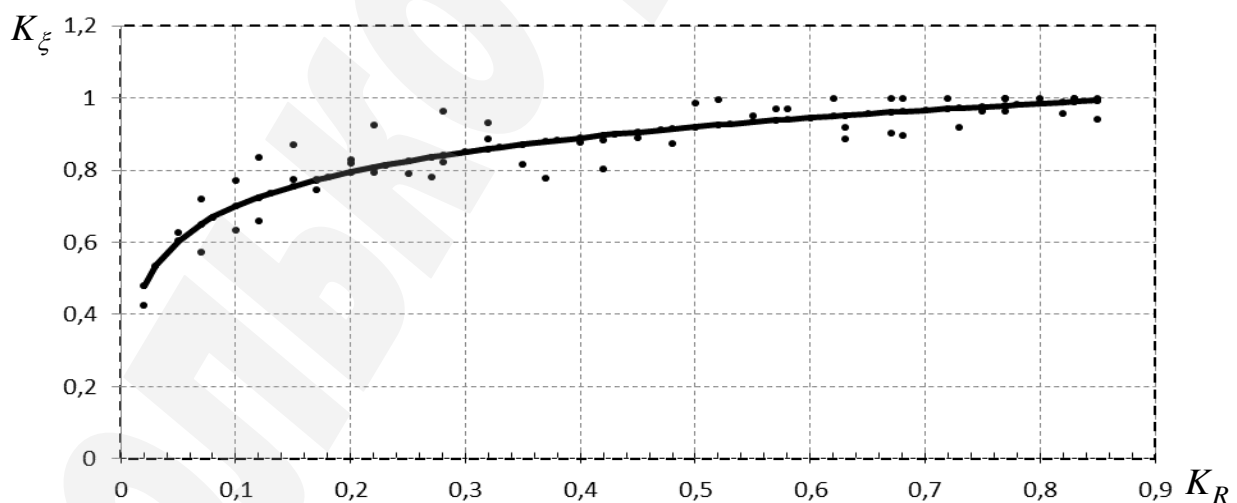


Рис. 2. Розподіл коефіцієнту відповідності часу простою транспортних засобів

На основі отриманих даних для виділеного ТПВ можна встановити регресійну залежність $K_{\xi} - K_R^{st}$. Шляхом статистичної обробки отриманих результатів встановлений вигляд функції, що описує залежність коефіцієнту відповідності часу простою від рівня ресурсного забезпечення пропускної здатності ЗП:

$$K_{\xi} = 1,0152 + 0,1371 \ln(K_R^{st}). \quad (13)$$

Ступінь адекватності визначеної регресійної залежності підтверджується отриманим значенням коефіцієнту детермінації, який складає 0,8928. Отримані показники свідчать про статистичну надійність прийнятої гіпотези та дозволяють зробити висновок про можливість використання представленої регресійної моделі для аналізу впливу рівня резерву пропускної здатності ЗП на рівень відповідності фактичного часу простою.

У межах розглянутого ЗП проаналізовані три варіанти зміни ресурсного забезпечення пропускної здатності: існуючий, збільшення та зменшення кількості постів обслуговування. Для визначених значень математичного очікування випадкових величин з використанням встановленої залежності (13) проведені розрахунки параметрів часового простою ТЗ (табл. 2).

Таблиця 2

Показники варіантів ресурсного забезпечення транспортно-пересадочного вузла

Варіант	Зменшення	Існуючий	Збільшення
Кількість постів обслуговування	2	3	4
Рівень резерву пропускної здатності ЗП	0,08	0,45	0,58
Показник оцінки відповідності часу простою ТЗ	0,685	0,879	0,907
Середній час непродуктивного простою ТЗ, хв	1,75	0,57	0,42
Питома вага часу непродуктивного простою ТЗ, %	45,9	13,8	10,3

Виходячи з інформації, наведеної в табл. 2, можна зробити висновок про те, що в ЗП «Ст. м. проспект Гагаріна» існує достатня кількість постів обслуговування, їх збільшення не призведе до значного зниження питомої ваги непродуктивних простоїв ТЗ. У разі зниження кількості постів обслуговування або збільшення кількості маршрутів знизиться рівень резервів пропускної здатності ЗП, що призведе до стрімкого зростання непродуктивних простоїв ТЗ. На основі виділеної закономірності в умовах існуючого ЗП можна зробити висновок про необхідність утримання рівня резерву пропускної здатності ЗП не менше 0,45. При такому варіанті можливе забезпечення стабілізації роботи ТПВ без впровадження пріоритетного руху МГПТ по ділянках вулично-дорожньої мережі та синхронізації розкладів маршрутів.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. В якості сильної сторони дослідження слід відзначити, що запропонований підхід до оцінки тривалості простою транспортних засобів в ЗП враховує випадковий характер зміни параметрів прибуваючих ТЗ та забезпечує цим облік реальних умов функціонування ТПВ. Адаптація елементів аналітичного роз-

рахунку до принципів дискретно-подієвого моделювання, яка представлена у вигляді хронологічної послідовності часових моментів, дозволяє знайти реальну форму визначення тривалості простою ТЗ у ЗП. А також забезпечує компроміс у досягненні необхідної точності розрахунків в умовах обмеженого інформаційного обміну. Особливістю запропонованого підходу до оцінки простою також є те, що він передбачає розглядати цей процес з позиції порівняння фактичного часу простою ТЗ з технологічним, який змінюється в залежності від пасажирообміну кожного ТЗ.

Weaknesses. Слабкою стороною дослідження є те, що для забезпечення відповідного значення резервів пропускної здатності ЗП необхідно сформулювати таку комбінацію розподілу маршрутів між ЗП, при якій досягається необхідний обсяг загального потоку замовлень, що дорівнює плановому рівню завантаження. Пошук такої комбінації ускладнюється тим, що базові її складові величини мають дискретний характер, який не дозволяє отримати широкого діапазону варіювання величин. Вирішення такої задачі може бути реалізовано за рахунок впровадження процедури відбору комбінаторних комбінацій на основі генетичного алгоритму. Цей алгоритм дозволить скоротити перелік можливих варіантів розподілу маршрутів за ЗП та максимально наблизити отримані дискретні значення рівня резерву пропускної здатності до кривої її розподілу.

Opportunities. Запропонований підхід до визначення часових параметрів простою ТЗ відкриває перспективи використання моделей слот-координатії розкладу руху МГПТ в ТПВ. На основі представленої залежності зміни показника відповідності часу простою ТЗ від рівня резерву пропускної здатності ЗП можна встановити реальний стан організації взаємодії МГПТ в ТПВ та оцінити питому вагу непродуктивних простоїв ТЗ. Наявність інформації про рівень непродуктивних простоїв ТЗ дозволяє в подальшому реалізувати процедуру комплексної оцінки ефективності роботи маршрутів МГПТ. В рамках такої оцінки можливе виділення конкретних ЗП, які впливають на зниження продуктивності рухомого складу, розрахувати питому вагу простою ТЗ в тривалості рейсу та виділити пріоритетні області реалізації оптимізаційно-конструктивних управлінських дій спрямованих на підвищення ефективності МГПТ.

Threats. Складність визначення часових параметрів простою ТЗ в ЗП полягає у необхідності використання інформації про зміну випадкових величин вхідного потоку для кожного окремого ТПВ. Значення параметрів зміни випадкових величин є вирішальними у формуванні зон характеристичного впливу резерву пропускної здатності ЗП та можуть бути визначені за допомогою натурних спостережень або на основі використання телеметричних систем контролю за роботою МГПТ. Використання об'єктивної інформації про параметри вхідного потоку дозволить підвищити точність моделі та забезпечити її адаптованість до реальних умов роботи ТПВ. Створення моніторингової системи вимагає облаштування зупиночних пунктів засобами відеоспостереження за формуванням маршрутного та пасажирського потоку та інтеграція їх в структуру диспетчерської служби управління МГПТ.

8. Висновки

1. Встановлено, що у реальних умовах функціонування ТПВ МГПТ основними причинами збільшення часу простою є одночасне знаходження в ЗП ТЗ в

кількості, яка перевищує його пропускну можливість. Для оцінки ефективності організації взаємодії МГПТ в ТПВ доцільно використовувати коефіцієнт відповідності часу простою ТЗ, який дозволяє оцінити рівень їх непродуктивних простоїв, викликаних виникненням черги в ЗП. Необхідність створення відповідних резервів пропускну здатності ЗП ґрунтується на умовах забезпечення безконфліктності руху ТЗ. Формалізацію складових тривалості часу простою ТЗ в умовах стохастичності вхідного потоку доцільно проводити на основі поєднання елементів аналітичного опису та дискретно-подієвого моделювання. Така форма дозволила описати процедуру роботи ЗП у вигляді хронологічної послідовності часових моментів оцінки стану ТЗ, які прибувають, та забезпечила адекватне представлення процесів їх обслуговування.

2. Експериментальним шляхом встановлено, що коефіцієнт відповідності часу простою ТЗ пропорційно залежить від рівня резервів пропускну здатності ЗП. Збільшення резерву пропускну здатності ЗП призводить до підвищення ефективності обслуговування ТЗ в ТПВ та дозволяє наблизити тривалості фактичного обслуговування ТЗ до технологічного рівня, який є мінімально необхідним для забезпечення пасажирообміну. Для обраного в якості прикладного дослідження ЗП «Ст. м. проспект Гагаріна» ТПВ «Левада» (49.981225, 36.241933) визначено, що існуючий рівень ресурсів пропускну здатності складає 0,45. При цьому показник оцінки відповідності часу простою ТЗ складає 0,879, середній час непродуктивного простою – 0,57 хв, що складає 13,8 % від часу технологічного простою. За умов зниження резерву пропускну здатності шляхом скорочення кількості постів обслуговування очікується збільшення рівня конфліктності та тривалості непродуктивних простоїв. При одному пості обслуговування питома вага непродуктивних простоїв ТЗ складає 45,9 % від технологічного часу, що на 32,1 % більше. Така ситуація є критичною та не може бути реалізована на практиці. Збільшення резерву пропускну здатності за рахунок додаткових постів призведе до зниження часу непродуктивного простою до 10,3 %, що менше існуючого варіанту лише на 3,5 %. За таких умов можна зробити висновок, що збільшення кількості постів обслуговування є недоцільним. Перспективи розвитку представленої методології оцінки тривалості простою ТЗ полягають у проведенні на їх основі прикладних досліджень, спрямованих на формування механізмів закріплення вхідних маршрутів між ЗП в межах ТПВ.

Література

1. Azarenkova Z. V. Planirovochnaya organizatsiya transportno-peresadochnyih uzlov // Academia. Arhitektura i stroitelstvo. 2011. Vol. 11. P. 76–80.
2. Gromule V., Yatskiv I. Coach terminal as important element of transport infrastructure // Transport. 2007. Vol. 22, No. 3. P. 200–206.
3. Lipenkov A. V., Kuz'min N. A. Opredelenie dopustimogo urovnya intensivnosti dvizheniya gorodskikh avtobusov pri izvestnoy propusknoy sposobnosti ostanovochnogo punkta // Intellect. Innovatsii. Investitsii. 2015. Vol. 3. P. 97–102.
4. Fernandez R., Planzer R. On the capacity of bus transit systems // Transport Reviews. 2002. Vol. 22, No. 3. P. 267–293. doi:[10.1080/01441640110106328](https://doi.org/10.1080/01441640110106328)

5. Zedgenizov A. V. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya ostanovochnykh punktov gorodskogo passazhirskogo transporta // Vestnik IrGTU. 2008. Vol. 3 (35). P. 121–123.

6. Analiticheskaya otsenka minimal'nykh i maksimal'nykh zatrat vremeni passazhirov na ostanovke gorodskogo marshruta / Gorbachev P. F. et al. // Avtomobil'nyi transport. 2013. Vol. 32. P. 67–71.

7. Nesheli M. M., Ceder A. Improved reliability of public transportation using real-time transfer synchronization // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2015. Vol. 60. P. 525–539. doi:[10.1016/j.trc.2015.10.006](https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.10.006)

8. Cats O., Loutos G. Real-Time Bus Arrival Information System: An Empirical Evaluation // Journal of Intelligent Transportation Systems. 2015. Vol. 20, No. 2. P. 138–151. doi:[10.1080/15472450.2015.1011638](https://doi.org/10.1080/15472450.2015.1011638)

9. Sorensen C. H., Longva F. Increased coordination in public transport—which mechanisms are available? // Transport Policy. 2011. Vol. 18, No. 1. P. 117–125. doi:[10.1016/j.tranpol.2010.07.001](https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.07.001)

10. Real-time control of buses for schedule coordination at a terminal / Dessouky M. et al. // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2003. Vol. 37, No. 2. P. 145–164. doi:[10.1016/s0965-8564\(02\)00010-1](https://doi.org/10.1016/s0965-8564(02)00010-1)