

УДК 656.025.2

DOI: 10.15587/2312-8372.2018.129152

## АНАЛІЗ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛІВ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Вдовиченко В. О.

Запропоновано розглядати ефективність функціонування транспортно-пересадочних вузлів з позицій впливу ресурсного забезпечення зупиночних пунктів на тривалість знаходження пасажирів в них. На основі принципів стабілізації роботи міського громадського пасажирського транспорту та умов сталого розвитку міського середовища виділено структуру контурного зв'язку технологічних рішень. Функціональною задачею є забезпечення рівня організації, спрямованого на максимізацію сервісно-ресурсного потенціалу маршрутів та нейтралізацію негативних наслідків роботи транспортно-пересадочних вузлів. Представлений зв'язок ґрунтується на обліку багаторівневого представлення наслідків роботи елементів транспортно-пересадочних вузлів на сервісно-ресурсний потенціал маршрутів міського громадського пасажирського транспорту та соціальні сфери міського середовища. Запропонований зв'язок дозволив обґрунтувати загальну форму та структуру критерію оцінки ефективності транспортно-пересадочних вузлів. Представлений критерій ефективності враховує обмеження впливу організації функціонування зупиночних пунктів на час руху пасажирів через транспортно-пересадочні вузли, якість дорожнього руху на прилеглих ділянках вулично-дорожньої мережі та міське середовище.

На основі експериментальних досліджень встановлена характеристична залежність впливу ресурсного забезпечення зупиночних пунктів на ефективність їх функціонування. Отриманий вигляд функції впливу ресурсного забезпечення зупиночних пунктів на тривалість простою транспортних засобів у черзі, рівень блокування проїжджої частини вулично-дорожньої мережі та навколишнє середовище має експоненціальну залежність. Для виділеного зупиночного пункту встановлено, що допустимим значенням з точки зору забезпечення сервісної якості є рівень резерву пропускної спроможності в межах 0,1–0,4. При збільшенні резерву пропускної спроможності з 0,1 до 0,4:

- середній час загального простою транспортних засобів знижується в 1,6 рази (з 3,9 хв до 2,4 хв);
- середній час простою у черзі знижується в 5,7 рази (з 0,4 хв до 0,07 хв);
- питома вага блокування проїжджої частини знижується в 3,6 рази (з 0,65 до 0,18).

Отримані залежності дозволяють встановити допустимі значення параметрів резервного забезпечення зупиночних пунктів транспортно-

*пересадочних вузлів. На основі представленої методології оцінки ефективності транспортно-пересадочних вузлів можливо оцінити доцільність впровадження оптимізаційних управлінських заходів, спрямованих на упорядкування прибуття транспортних засобів у зупиночні пункти.*

**Ключові слова:** транспортно-пересадочний вузол, міський громадський пасажирський транспорт, зупиночний пункт, пропускна здатність.

## **1. Вступ**

У сучасних умовах розвитку міських територій гострої проблеми набувають питання забезпечення високоякісної та безпечної мобільності населення. Ефективним шляхом забезпечення мобільності міського населення в умовах дотримання вимог щодо зниження негативних наслідків та забезпечення ресурсозбереження є поширення використання міського громадського пасажирського транспорту (МГПТ). Основною умовою формування пріоритетів населення у виборі варіантів сполучення на базі МГПТ є його відповідність висунутим ними соціально-маркетинговим потребам, які полягають у повному та своєчасному задоволенні вимог пасажирів. Важливим елементом МГПТ є транспортно-пересадочні вузли (ТПВ), які поряд з магістралями швидкісного транспорту є основополагаючим каркасом мережі. Стан організації технологічних процесів у ТПВ у значній мірі визначає умови використання потенціалу МГПТ та поряд з задачею стабілізації руху маршрутного транспорту по вулично-дорожній мережі є сьогодні досить актуальним. Простий транспортних засобів у ТПВ, який необхідний для забезпечення посадково-пересадочних операцій відноситься до обслуговуючих функцій та за своїм цільовим характером є непродуктивним. У значній мірі ситуація погіршується відсутністю комплексного регулювання взаємодії МГПТ в ТПВ, що призводить до появи конфліктних ситуацій. Такі ситуації є джерелом зниження провізних можливостей транспорту, збільшення часу пересування пасажирів, виникнення дорожньо-транспортних пригод та додатковому забрудненню атмосфери. Підвищення ефективності функціонування МГПТ вимагає використання обґрунтованих техніко-технологічних закономірностей оцінки параметрів стабілізації роботи ТПВ та повинне враховувати принципи сталого розвитку міст.

## **2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит**

Стан ТПВ визначається рівнем функціонування зупиночних пунктів (ЗП), які є його основним структурним елементом. За період часу ( $t$ ) у кожний ЗП прибуває вхідний маршрутний потік, який визначається інтенсивністю прибуття транспортних засобів (ТЗ) та характеризується кількістю пасажирів, що знаходяться в їх салоні та кількістю пасажирів, що виходять з них на ЗП. Для кожного маршруту на основі натурних спостережень визначається середній інтервал та діапазон флуктуації прибуття ТЗ. Знаходження кожного ТЗ у ЗП характеризується моментами початку ( $\tau_{ar}^{rs}$ ) та закінчення їх простою ( $\tau_{dp}^{rs}$ ), пов'язаного з посадкою-висадкою пасажирів. У ЗП протягом відповідного

періоду формується потік транзитних пасажирів, які роблять пересадки між маршрутами та потік пасажирів, які підходять з прилеглих територій. Міжрейсовий інтервал прибуття визначається виходячи з різниці часу між часом прибуття наступного ТЗ ( $\tau_{ar}^{rs_{i+1}}$ ) та відправлення попереднього ( $\tau_{dp}^{rs_i}$ ). За період ( $\tau_{dp}^{rs_{i-1}} - \tau_{ar}^{rs_i}$ ) між відправленням рейсу  $rs_{i-1}$  та прибуттям рейсу  $rs_i$  на ЗП формується обсяг пасажирів  $q_r(\tau_{dp}^{rs_{i-1}} - \tau_{ar}^{rs_i})$ . Під час простою ТЗ в ЗП в періоді ( $\tau_{ar}^{rs_i} - \tau_{dp}^{rs_i}$ ) до ЗП підходять пасажири в обсязі  $q_r(\tau_{ar}^{rs_i} - \tau_{dp}^{rs_i})$ , які можуть скористатися ТЗ для посадки. Цей обсяг може бути розподілений на дві частини: перша частина – пасажири, що підійшли під час технологічного простою, а друга – пасажири, що підійшли під час додаткового сервісного простою. Сумарна тривалість простою ТЗ, яка складається з часу маневрування, часу технологічного простою для посадки-висадки пасажирів та додаткового сервісного часу простою визначає плановий рівень завантаження ЗП та рівень резерву його пропускнуї спроможності.

Об'єктом дослідження є процес функціонування ЗП ТПВ. Основним керуючим впливом виступає час додаткового сервісного простою ТЗ. Змінюючи його значення досягається відповідний рівень завантаження ЗП та час знаходження пасажирів у ТПВ. Збільшення часу простою ТЗ призводить до зростання рівня конфліктності ЗП. Під конфліктністю розуміється одночасне знаходження в ЗП ТЗ у кількості, яка перевищує кількість постів обслуговування. Визначення раціонального рівня завантаження ЗП на основі оцінки впливу тривалості додаткового сервісного простою є основним технологічним завданням організації функціонування ЗП. Поставлена технологічна задача вимагає створення відповідного аналітичного апарату оцінки ефективності функціонування ЗП та проведення експериментальних досліджень визначення характеристичного впливу рівня ресурсного забезпечення на її значення.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Метою дослідження* є визначення впливу ресурсних умов ЗП на ефективність його функціонування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. На основі аналізу впливу технологічних рішень на взаємодію суб'єктів МГПТ сформулювати критерій оцінки ефективності функціонування ЗП.
2. Експериментальним шляхом встановити характеристичні залежності впливу рівня ресурсного забезпечення ЗП на ефективність його функціонування.

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Оцінка ефективності МГПТ є першочерговою задачею у формуванні стратегічних рішень удосконалення його роботи. Необхідність вирішення задачі об'єктивного представлення результатів роботи МГПТ підтверджується у ряді науково-практичних робіт [1–4].

У роботах [2–6] питання оцінки ефективності окремих елементів МГПТ у формальному вигляді не розглядається. Однак окремі автори робили спроби описати ефективність МГПТ на основі оцінки показників якості його роботи. У роботі [2] ефективність міського пасажирського транспорту представляється сукупністю індикаторів загальною чисельністю понад 50. Індикатори розподілені за наступними групами: якість транспортного обслуговування, соціально-демографічні, організаційні, економічні та екологічні. Представлена форма оцінки ефективності дозволяє проводити лише констатуючу оцінку і спрямована на реалізацію хронологічного аналізу змін. Відсутність формалізованих зв'язків між операціями та ефективністю роботи транспорту не дозволяє використовувати цей підхід для дослідження впливу окремих технологічних підпроцесів. Вплив організаційних чинників на ефективність міського пасажирського транспорту представлено у роботі [3]. Авторами пропонується розглядати ефективність як технічну характеристику, яка на їх погляд залежить від форм власності. Уваги в цій роботі заслуговує спроба представити ефективність у вигляді лінійної емпіричної функції, до складу якої входять параметри, що визначають рівень організованості процесів. Представлена залежність побудована на основі статистичної обробки результатів. Недоліком такого підходу є те, що він має узагальнюючий характер, що не дає можливості описати вплив конкретних чинників на ефективність міського пасажирського транспорту.

У роботі [4] автором запропоновано оцінювати ефективність роботи маршрутів через поєднання двох показників – ефективність і продуктивність. Ефективність в цьому випадку передбачає оцінку рівня забезпеченості перевезень населення міст, а продуктивність – рівень використання провізних ресурсів маршруту. В якості основних чинників впливу запропоновано використовувати наступні показники: вартість проїзду, час поїздки, тип, місткість рухомого складу та ін. Однак наведений у роботі підхід має вид узагальнюючої концепції, яка у подальшому не отримала реалізації у вигляді конкретних функцій. У роботі [5] ефективність пасажирського транспорту розглядається через розрахунок сукупності техніко-експлуатаційних показників, які відображають економічну результативність роботи парку рухомого складу. Така форма представлення ефективності представляє процеси узагальнено і лише з позицій оцінки інтересів транспортних підприємств.

Однією зі спроб вчених представити формальний вид функції ефективності МГПТ є робота [6]. В ній запропоновано в якості ефективності транспортних послуг використовувати непереривну функцію. До складу входять: рівень транспортного обслуговування, стан навколишнього середовища, рівень ресурсів транспортного процесу, обсяг добових транспортних потоків тощо. Представлена робота також має узагальнений вид і не містить конкретних моделей формалізації критерію ефективності. Для оцінки ефективності МГПТ у роботі [7] автором пропонується використовувати емпіричні залежності зміни його енергоспоживання. Представлені залежності відображають тенденції зміни енергоспоживання у часі. Цей підхід відноситься до типу моделей, які описують хронологію та не можуть бути використані для оцінки ефективності

функціонування елементних об'єктів МГПТ. На основі аналізу робіт [5–7] можна дійти висновку, що серед цих досліджень методики оцінки ефективності МГПТ в явному виді майже не представлені. Формалізація моделей має узагальнений вигляд. Оцінка ефективності функціонування МГПТ в більшості випадків покладається на експертів і реалізується, як правило, через суб'єктивну оцінку стану якісних показників транспортних послуг. Варіантом представлення підходу щодо використання в якості критерію ефективності МГПТ часу пересування є робота [8]. Автор пропонує прийняти за критерій значення функціонал, який формується у вигляді зваженої суми індивідуальних витрат часу пасажирів на пересування. Однак, час на пересування відображає інтереси лише пасажирів і не відображає всієї специфіки транспортного процесу.

Серед робіт, присвячених оцінці ефективності функціонування окремих елементів пасажирської транспортної інфраструктури, в яких представлені основні узагальнюючі підходи, є праці [9–13]. Для оцінки ефективності функціонування зупиночних пунктів у роботі [9] запропоновано використовувати часові показники. Показники можуть бути представлені як у вигляді окремого параметра, так і в якості складової частини загального критерію часової погодженості взаємодії. Основним недоліком такого підходу є його обмеженість внутрішнім середовищем, відсутність обліку впливів елементарного рівня на стан роботи маршрутів та транспортної системи міста в цілому.

Підвищення ефективності взаємодії суб'єктів МГПТ в межах ТПВ представлено в роботі [10]. У ній розглядаються питання синхронізації руху транспортних засобів з позиції забезпечення мінімальних витрат часу пасажирів. Недоліком цього підходу до оцінки ефективності взаємодії в ТПВ є те, що в представлених моделях не враховується вплив пропускної здатності на час затримок транспортних засобів. У роботі [11] авторами розглядається питання оцінки впливу рівня завантаження зупиночного пункту на середній час знаходження транспортного засобу у черзі. Основним недоліком цього дослідження є те, що процес прибуття транспортних засобів представляється у стабільному виді з постійними характеристиками. Така форма представлення не відповідає існуючому практичному стану та не може бути використана для оцінки впливу пропускної здатності на простій транспортних засобів в існуючих реальних умовах роботи МГПТ.

Підводячи підсумок аналізу існуючих публікацій, слід відмітити, що оцінка ефективності МГПТ є важливим етапом формування стратегії його управління та у значній мірі впливає на визначення форм і механізмів підвищення. Ефективність об'єктів пасажирської транспортної інфраструктури повинна відображати його результативність по відношенню до виділених суб'єктів та доцільно представляти, як форму відображення рівня досягнення ним цільових інтересів МГПТ. Існуючі підходи до оцінки ефективності МГПТ зорієнтовані на визначення його результативності по відношенню до внутрішніх суб'єктів та представляються у вигляді внутрішніх економічних, технологічних, соціальних, екологічних показників. Така форма представлення

показників ефективності МГПТ не дозволяє проводити оцінку впливу на зовнішні компоненти міського середовища, а також не відображає його роль у забезпеченні якості життя населення. Вирішення задачі пошуку об'єктивних способів оцінки ефективності окремих елементів пасажирської транспортної інфраструктури, до складу якої входять ТПВ, лежить в області розвитку теоретичних і методологічних основ виділення рівнів його розгляду. Такі умови вимагають розробки нових форм представлення ресурсно-результативних параметрів його функціонування з врахуванням опису багаторівневого взаємовпливу та обліку умов формування сталого розвитку міст.

## 5. Методи дослідження

Парадигма підвищення ефективності технологічної взаємодії МГПТ в ТПВ базується на обліку особливостей попиту та рівня ресурсного забезпечення обслуговуючої підсистеми. Структура реалізації виробничої програми в значній мірі залежить від обсягу попиту, рівня ресурсного забезпечення та визначає склад технологічних заходів удосконалення взаємодії. Стан операцій і алгоритмів, що забезпечують отримання відповідних результатів, оцінюються показниками якості, до яких відносять результативність, ресурсомісткість і рівень зворотного впливу. У загальній сукупності показники результативності, ресурсомісткості та впливовості породжують комплексну системну властивість – ефективність процесу. Ця властивість проявляється при реалізації функціональних процесів об'єкту і залежить від внутрішніх та зовнішніх умов реалізації. Оцінку ефективності функціонування МГПТ реалізують з чотирьох основних рівнів [14]: елементний, агрегатний, системний та метасистемний. ТПВ відносяться до першого елементного рівня. Для оцінки ефективності МГПТ на цьому рівні використовуються часові показники, які відображають якість операцій. Така форма передбачає проведення якісної оцінки часу витрат пасажирів на реалізацію посадково-пересадочних операцій. Однак наявність характерного міжрівневого впливу в структурі представлення взаємодії суб'єктів МГПТ вимагає розширення зони представлення ефективності ТПВ. Такі умови ґрунтуються на принципах системного аналізу і реалізуються через оцінку інтеграційного впливу техніко-технологічної взаємодії ТПВ на елементи системної ефективності МГПТ. Враховуючи такі вимоги загальна структура оцінки ефективності функціонування ТПВ у відповідному періоді ( $t$ ) може бути представлена через сукупність станів:

- елементного рівня  $S_e(t)$  (об'єктів пасажирської транспортної інфраструктури);
- агрегатного рівня  $S_u(t)$  (маршрути МГПТ);
- системного рівня  $S_t(t)$  (вулично-дорожньої мережі);
- метасистемного рівня  $S_c(t)$  (міське середовище):

$$W(s) = \{S_e(t), S_u(t), S_t(t), S_c(t)\}. \quad (1)$$

Постановка задачі удосконалення взаємодії в ТПВ передбачає в межах його ресурсних можливостей ( $R$ ) та наявного вхідного маршрутного потоку ( $V$ ) реалізацію такого керуючого впливу ( $Z$ ), який спрямований на забезпечення ефективного стану всіх рівнів:

$$Z \times R \times V \rightarrow W(s) \rightarrow \max. \quad (2)$$

Внаслідок наявності складного за розміром та характером системного зв'язку, вирішення поставленої задачі пошуку загальнорівневого ефективного стану МГПТ є дуже трудомісткою процедурою. Її вирішення вимагає використання принципів єдності аналізу та синтезу дослідження окремих процесів. Для цього необхідно провести логічний розподіл загальної задачі на окремі складові частини відносно зон реалізації та виділити їх характеристичний вплив на загальнорівневу ефективність МГПТ.

Декомпозиція ієрархічних рівнів критерію ефективності  $W(s)$  в межах виділеного об'єкта дослідження може бути представлена через їх упорядкування методом головного критерію оптимізації. Головним критерієм виступає сервісно-ресурсна сталість функціонування ТПВ. У структурі системи обмежень необхідно врахувати сервісні компоненти функціонування суб'єктів рівня «маршрут», «міська транспортна система» та «міське середовище». Рівень сервісно-ресурсної сталості ТПВ оцінюється показником, який відображає різницю між фактичним значенням його потенціалу та значенням потенціалу, який відповідає гранично допустимій сервісно-ресурсній межі:

$$W_e(t) = \frac{A_{th}^Z(t) \cdot K_{th}^Z(t)}{A_{th}^B \cdot K_{th}^B} - 1 \rightarrow \max, \quad (3)$$

де  $A_{th}^Z(t)$  – рівень якості обслуговування пасажирів у ТПВ при реалізації керуючого впливу  $Z$ ;

$K_{th}^Z(t)$  – рівень резервів пропускної спроможності ТПВ при реалізації керуючого впливу  $Z$ ;

$A_{th}^B$  – рівень якості обслуговування пасажирів у ТПВ, який відображає межу області його сервісної сталості;

$K_{th}^B$  – рівень необхідних резервів пропускної спроможності ТПВ, який відображає межу області його ресурсної сталості.

Система обмежень критерію враховує зміну сервісного стану верхніх рівнів:

$$\begin{cases} \Delta W_u(t) = A_{rt}^Z(t) - A_{rt}^B > 0, \\ \Delta W_f(t) = A_{cr}^Z(t) - A_{cr}^B > 0, \\ \Delta W_c(t) = A_c^Z(t) - A_c^B \leq 0, \end{cases} \quad (4)$$

де  $A_{r_i}^Z(t)$  – рівень якості обслуговування пасажирів на маршрутах, які проходять через ТПВ при реалізації керуючого впливу  $Z$ ;

$A_{r_i}^B$  – рівень якості обслуговування пасажирів на маршрутах, які проходять через ТПВ, що відображає межу області їх сервісної сталості;

$A_{cr}^Z(t)$  – рівень якості руху на ділянках вулично-дорожньої мережі (ВДМ) в зоні ТПВ при реалізації керуючого впливу  $Z$ ;

$A_{cr}^B$  – рівень якості руху на ділянках ВДМ в зоні ТПВ, який відображає межу області їх сервісної сталості;

$A_c^Z(t)$  – показник, що відображає рівень негативного впливу на міське середовище (МС) при реалізації керуючого впливу  $Z$ ;

$A_c^B$  – показник, що відображає рівень негативного впливу на МС при фактичному стані організації функціонування ТПВ.

Рівень якості обслуговування пасажирів у ТПВ оцінюється ступенем відповідності фактичного часу переміщення через ТПВ до маркетингових вимог пасажирів:

$$A_{th}^Z(t) = \frac{\sum_{i=1}^{r_n} q_{sp_i}^{st}(t) \cdot \overline{t_{r_i}^{sn(P)}}(t) + \sum_{j=1}^{SP_n} q_{sp_j}^{en}(t) \cdot \overline{t_{th_j}^{tr(P)}}(t)}{\sum_{i=1}^{r_n} q_{sp_i}^{st}(t) \cdot \overline{t_{r_i}^{sn(Z)}}(t) + \sum_{j=1}^{SP_n} q_{sp_j}^{en}(t) \cdot \overline{t_{th_j}^{tr(Z)}}(t)}, \quad (5)$$

де  $q_{sp_i}^{st}(t)$  – кількість пасажирів, що переміщуються маршрутами без реалізації посадки-висадки в ТПВ, пас.;

$q_{sp_j}^{en}(t)$  – кількість пасажирів, що відправляються з ЗП, пас.;

$\overline{t_{r_i}^{sn(P)}}(t)$  – середній маркетинговий час знаходження пасажирів в ТПВ, що переміщуються маршрутами без реалізації посадки-висадки, с;

$\overline{t_{r_i}^{sn(Z)}}(t)$  – середній фактичний час знаходження пасажирів в ТПВ, що переміщуються маршрутами без реалізації посадки-висадки, с;

$\overline{t_{th}^{tr(P)}}(t)$  – середнє значення маркетингового часу знаходження пасажирів в ТПВ, що відправляється з ЗП, с;

$\overline{t_{th}^{tr(Z)}}(t)$  – середнє значення фактичного часу знаходження пасажирів в ТПВ, що відправляється з ЗП, с.

Фактичний час переміщення пасажирів через ТПВ визначається на основі розрахунку тривалості знаходження пасажирів в ТЗ, які мають додатковий простій в ЗП:



$$\overline{t_r^{sn(Z)}}(t) = \frac{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_{rc}^{sp}(t)} (\tau_{dp}^{rs_{rci}} - \tau_{ar}^{rs_{rci}}) \cdot (q_{en}^{rci} \cdot \gamma_{en}^{rs_{rci}} - p_{ex}^{rs_{rci}})}{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_{rc}^{sp}(t)} (q_{en}^{rci} \cdot \gamma_{en}^{rs_{rci}} - p_{ex}^{rs_{rci}})}, \quad (6)$$

де  $\tau_{dp}^{rs_{rci}}$  – момент відправлення ТЗ рейсу  $rs_{rci}$  у ЗП  $c$ , с.

Під маркетинговим розуміється час, який встановлюється пасажиром в якості вимоги до рівня якості транспортних послуг. Середній маркетинговий час знаходження пасажиром в ТПВ визначається виходячи з мінімальної тривалості простою ТЗ:

$$\overline{t_r^{sn(P)}}(t) = \frac{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_{rc}^{sp}(t)} (\tau_{ad}^{rs_{rci}} - \tau_{ar}^{rs_{rci}}) \cdot (q_{en}^{rci} \cdot \gamma_{en}^{rs_{rci}} - p_{ex}^{rs_{rci}})}{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_{rc}^{sp}(t)} (q_{en}^{rci} \cdot \gamma_{en}^{rs_{rci}} - p_{ex}^{rs_{rci}})}, \quad (7)$$

де  $\tau_{ad}^{rs_{rci}}$  – момент закінчення висадки-посадки пасажирів рейсу  $rs_{rci}$  у ЗП  $c$ , с;

$\tau_{ar}^{rs_{rci}}$  – момент прибуття ТЗ рейсу  $rs_{rci}$  у ЗП  $c$ , с;

$k_{rc}^{sp}(t)$  – кількість рейсів маршруту  $r$ , що прибувають у періоді  $t$  у ЗП  $c$ ;

$q_{en}^{rci}$  – місткість ТЗ на маршруті  $r$ , пас.;

$\gamma_{en}^{rs_{rci}}$  – рівень наповнення ТЗ при прибутті рейсу  $rs_{rci}$ ;

$p_{ex}^{rs_{rci}}$  – кількість пасажирів, що виходять з ТЗ при прибутті рейсу  $rs_{rci}$ , пас.

У межах виділеного предмету дослідження, якість обслуговування пасажирів на маршрутах, що проходять через ТПВ  $A_{rt}^Z(t)$  оцінюється середньою тривалістю знаходження транзитного пасажиром в ТПВ:

$$A_{rt}^Z(t) = \frac{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{d=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_{rc}^{sp}(t)} (\tau_{dp}^{rs_{rdi}} - \tau_{ar}^{rs_{rci}}) \cdot q_{sp_c}^{tr}(\tau_{ar}^{rs_{rci}})}{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{b=1}^t q_{sp_c}^{tr}(\tau_{ar}^{rs_{rci}})}, \quad (8)$$

де  $\tau_{dp}^{rs_{rdi}}$  – момент відправлення рейсу  $rs_{rdi}$ , на який здійснюється пересадка у ЗП  $d$ , с.

Тривалість знаходження транзитного пасажиром в ТПВ, що відображає межу області їх сервісної сталості, визначається, виходячи з наявності резерву часу рейсу, для кожного маршруту. Цей час встановлюється шляхом натурних спостережень за фактичним часом рейсу.

Якість руху на ділянках ВДМ визначається рівнем обслуговування. Базовою якісною характеристикою рівня обслуговування є коефіцієнт завантаження. У разі виникнення конфліктної ситуації в зоні ТПВ відбувається блокування смуги руху, що призводить до зниження пропускної спроможності ВДМ. Питома вага часу блокування проїжджої частини є базовою характеристикою, яка відображає вплив роботи ТПВ на якість дорожнього руху:

$$A_{cr}^{(Z)}(t) = \frac{t_{bc}^{(Z)}(t)}{t}, \quad (9)$$

де  $t_{bc}^{(Z)}(t)$  – час блокування проїжджої частини на ділянках ВДМ, с.

Якісною оцінкою негативного впливу керуючих дій на міське середовище є кількість конфліктних ситуацій, яка характеризує основний чинник можливості виникнення ДТП в ТПВ та тривалість непродуктивного простою ТЗ в черзі перед ЗП  $T_{rsp}^{st}(t)$ . Це безпосередньо впливає на обсяг додаткового екологічного забруднення довкілля. Показник, що відображає рівень негативного впливу на міське середовище представляється вербальною формою опису (негативний або нейтральний вплив) та може бути представлена бінарною функцією:

$$A_c^{Z,B}(t) = \left\{ 1 : k_{bt_i}^{(Z,B)}(t) > k_{bpt_i}; 0 : k_{bt_i}^{(Z,B)}(t) \leq k_{bpt_i} \right\}, i = \overline{1, n_{sp}}, \quad (10)$$

де  $k_{bt_i}^{(Z)}(t)$  – кількість ТЗ у  $i$ -му ЗП;

$k_{bpt_i}$  – допустима кількість ТЗ для одночасного знаходження у  $i$ -му ЗП;

$n_{sp}$  – кількість ЗП у ТПВ.

Основним техніко-технологічним параметром варіанту взаємодії в ТПВ є ресурсне забезпечення зупиночних пунктів, яке відображається рівнем резерву пропускної спроможності зупиночних пунктів ( $K_R$ ). Використання в якості параметру управління рівня резервів пропускної спроможності ЗП ТПВ ґрунтується на основополагаючих принципах стабілізації технологічних процесів та є дієвим інструментом забезпечення сталості МГПТ. Для визначення діапазону раціональних значень резервів пропускної спроможності ЗП ТПВ необхідно встановити залежність виду  $We(t) = f(K_R)$ . Поставлена задача може бути вирішена шляхом проведення експериментальних досліджень.

## 6. Результати дослідження

Поряд з формалізацією структурних складових критерію основною задачею дослідження є визначення параметричного зв'язку між плановим резервом пропускної здатності ЗП та ефективністю їх функціонування. Складність опису процедури міжрівневих зв'язків викликана значними розмірами та стохастичними умовами взаємодії. На основі розробленої імітаційної моделі

функціонування ЗП ТПВ проведені експериментальні дослідження. На основі аналізу контурного зв'язку технологічних рішень підвищення ефективності взаємодії в ТПВ доцільно використовувати в якості показника ефективності параметр планового резерву пропускної спроможності ЗП. Така форма дозволяє забезпечити відповідність існуючій стратегії реалізації вхідних управлінських дій. Зовнішніми чинниками впливу є: пасажирообмін ТЗ, інтервал руху на маршруті, час посадки (висадки), час маневрування, рівень заповнення, час переходу між ЗП при пересадці. Для визначення характеру зміни зовнішніх чинників були проведені натурні спостереження на ЗП ТПВ м. Харків (Україна) «вул. Г. Широнинців – вул. Валентинівська» (50.013268, 36.341187). За результатами натурних спостережень встановлені закономірності зміни параметрів вхідного маршрутного потоку (табл. 1).

**Таблиця 1**

Параметри зміни параметрів вхідного маршрутного потоку

Параметр	Закон розподілу	Математичне очікування	Діапазон зміни	
			Min	Max
Пасажирообмін транспортного засобу, пас	Логнормальний	20,3	0	39
Інтервал прибуття ТЗ, хв	Логнормальний	1,8	0,6	3,4
Флуктуація прибуття ТЗ, хв	Логнормальний	0,9	0,2	1,9
Час посадки (висадки) пасажирів, с	Гама-розподіл	2,4	1,1	8,6
Рівень заповнення ТЗ, пас.	Гама-розподіл	0,894	0,742	1,236
Час маневрування, с	Логнормальний	16,2	11	23
Час переходу пасажирів між ЗП, хв	Логнормальний	2,7	1,6	3,8

У дискретно-подієвому моделюванні функціонування представляється як хронологічна послідовність подій. Подія відбувається в певний момент часу і знаменує собою зміну стану. Для моделювання прийнятий діапазон часу, який відповідає ранковому періоду пік (з 7 до 8 години). Кількість досвідів у серії обґрунтовано на основі нерівномірності Чебешева. Для забезпечення значимості в кожній серії проведено по 100 дослідів. На основі імітаційних розрахунків можливо провести аналіз зміни сервісно-ресурсних параметрів функціонування в залежності від зміни ресурсного забезпечення ЗП. Такий аналіз проводиться в аналітичній формі на основі встановлених графіків розподілу отриманих результатів та передбачає своєю метою визначення основних тенденцій щодо виділення внутрішніх причинно-наслідкових зв'язків. Дані зв'язки в подальшому дозволять стати базовим критерієм практичної адаптації запропонованих механізмів технологічних рішень у формування виробничої програми функціонування ТПВ. Проведення аналізу отриманих даних проводиться за такими основними напрямками аналізу зв'язків:

- резерв пропускної спроможності ЗП – час знаходження пасажирів у ТПВ (рис. 1);
- резерв пропускної спроможності ЗП – час знаходження ТЗ у ТПВ (рис. 2);

– резерв пропускної спроможності ЗП – питома вага часу блокування проїжджої частини (рис. 3).

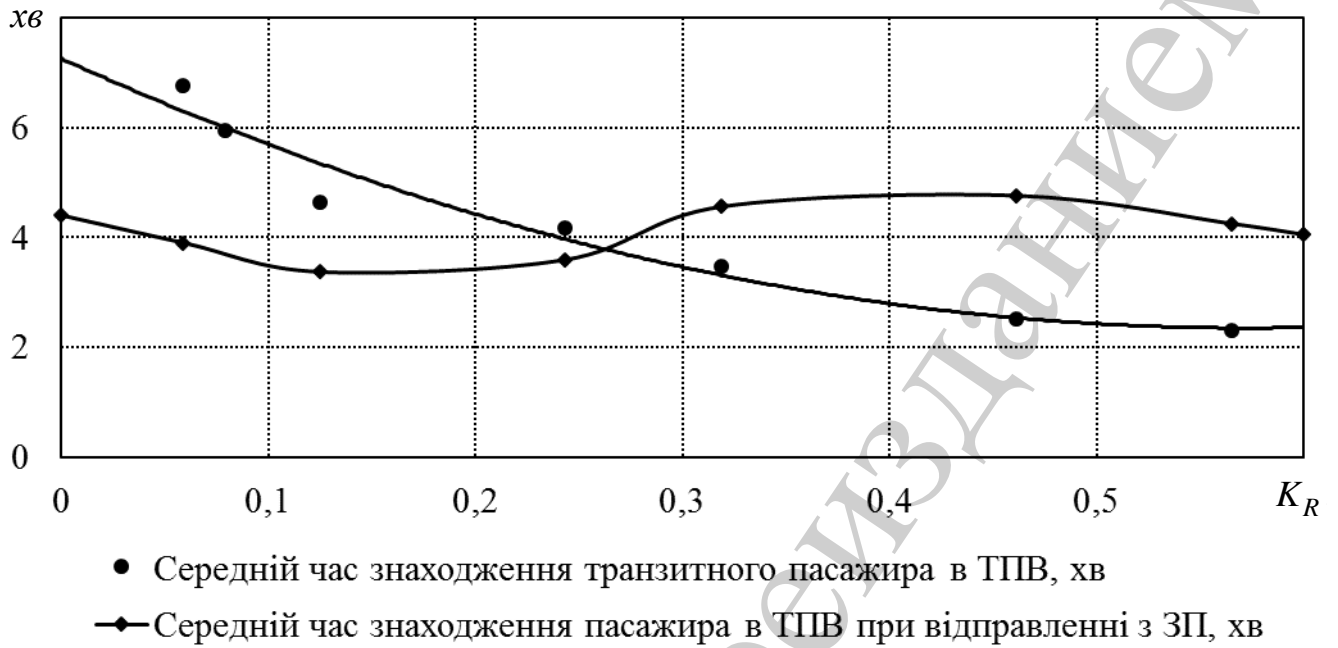


Рис. 1. Зміна часу знаходження пасажирів

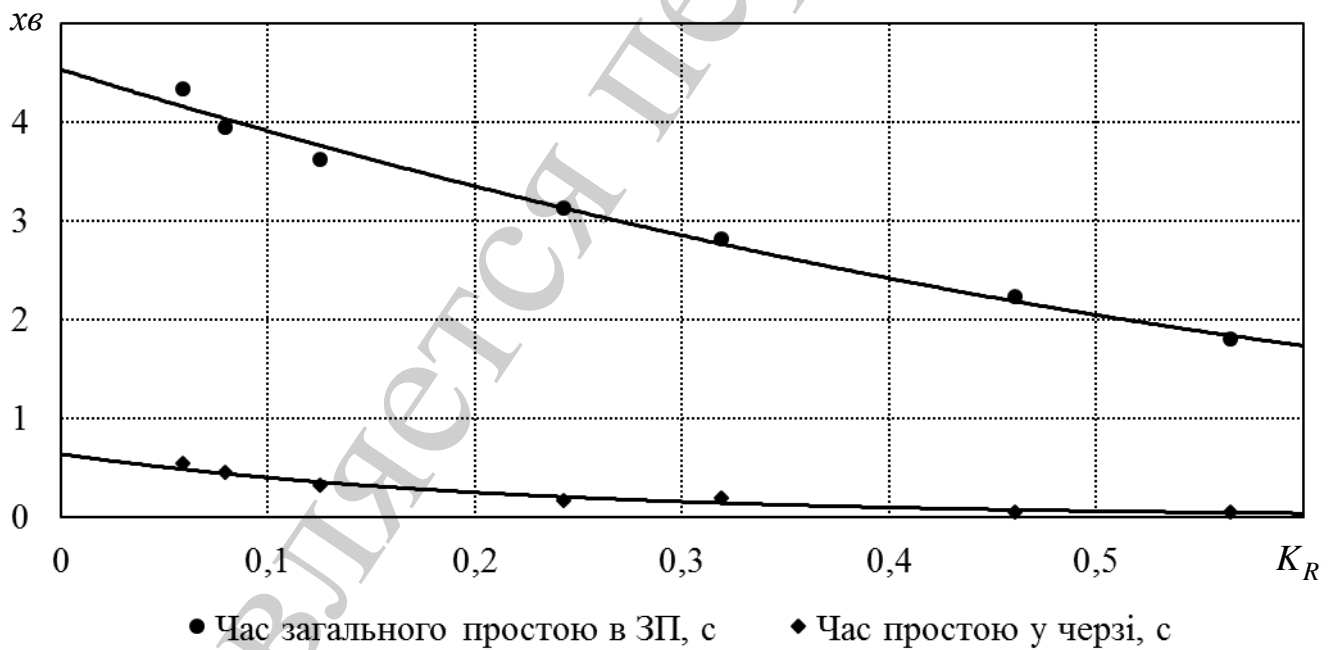
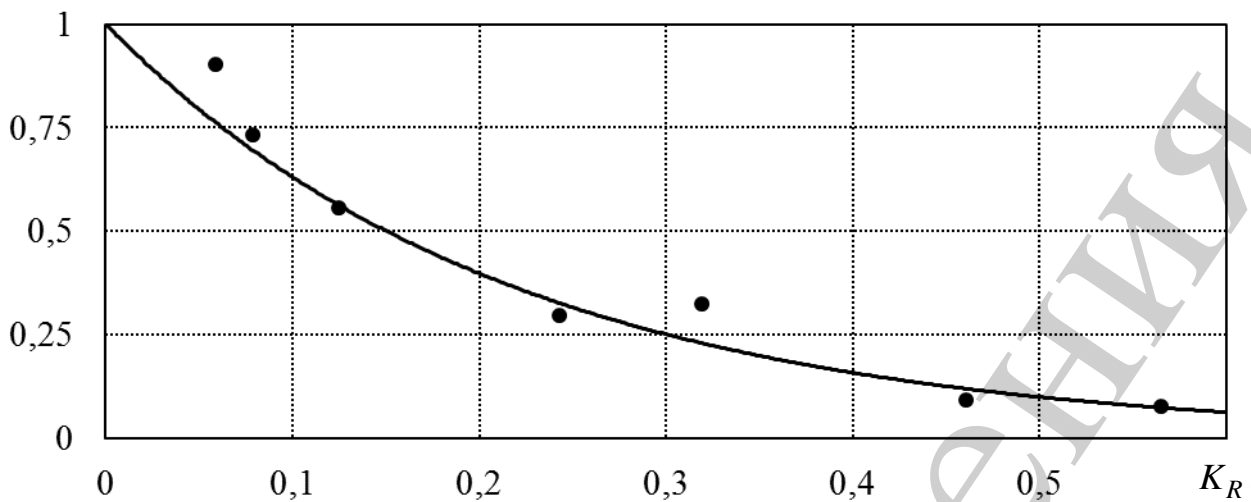


Рис. 2. Зміна середнього часу знаходження транспортних засобів



**Рис. 3.** Зміна питомої ваги часу блокування проїжджої частини

Аналізуючи отримані залежності зміни показників ефективності можна встановити рівень впливу ресурсного забезпечення ЗП на складові ефективності функціонування. Характерним параметричним показником якості обслуговування пасажирів в ТПВ є час, який витрачається пасажирами. При збільшенні часу додаткового сервісного простою ТЗ відбувається підвищення рівня завантаження, що знижує рівень резерву пропускної спроможності ЗП. Така ситуація призводить до скорочення часу пересадок пасажирів між маршрутами різних ЗП. Однак це також веде до збільшення часу знаходження пасажирів у ТПВ, які реалізують транзитні пересування без виходу з ТЗ. На основі аналізу зміни середнього часу знаходження пасажирів, які відправляються з ЗП можна встановити, що при рівні резерву пропускної спроможності ЗП в межах 0,1–0,4 спостерігається його зниження. При збільшенні понад 0,4 – час зростає. Це пояснюється впливом раціональної тривалості додаткового простою ТЗ на можливість реалізації пересадки без очікування. При подальшому його збільшенні зростає час простою ТЗ та пасажирів у тому числі тих, хто здійснив посадку на ЗП. Збільшення рівня резерву пропускної спроможності ЗП призводить до зниження часу загального простою ТЗ, рівня конфліктності, тривалості черг та знижує питому вагу блокування проїжджої частини. Так встановлено, що для розглянутого ЗП при збільшенні резерву пропускної спроможності з 0,1 до 0,4:

- середній час загального простою ТЗ знижується в 1,6 рази (з 3,9 хв до 2,4 хв);
- середній час простою ТЗ у черзі знижується в 5,7 рази (з 0,4 хв до 0,07 хв);
- питома вага блокування проїжджої частини знижується в 3,6 рази (з 0,65 до 0,18).

## 7. SWOT-аналіз результатів дослідження

*Strengths.* В якості сильної сторони дослідження слід відзначити, що запропонований підхід до оцінки ефективності функціонування ґрунтується на

принципах системного підходу та враховує міжрівневий вплив ресурсного забезпечення ЗП на стан зовнішніх елементів МГПТ. Представлена оцінка ефективності забезпечує компромісні можливості визначення сервісно-ресурсних показників функціонування ЗП в поєднанні з доступною формою обліку змін якісних параметрів роботи маршрутів МГПТ, елементів ВДМ та впливу на міське середовище. Запропоновані аналітичні моделі критерію ефективності гуртуються на принципах соціально-маркетингового підходу до оцінки якості транспортного обслуговування та дають змогу їх адаптації до умов реалізації дискретно-подієвого моделювання. Особливістю запропонованого підходу до визначення впливу ресурсного забезпечення ЗП на їх ефективність є те, що він передбачає формування його раціонального значення за рахунок технологічних рішень без зміни планувальної структури ТПВ. Це повністю відповідає сучасним вимогам до реалізації програм удосконалення функціонування МГПТ з позицій ресурсозберігаючих принципів розвитку міст.

*Weaknesses.* Слабкою стороною дослідження є те, що на рівень ресурсного забезпечення ЗП значний вплив крім тривалості додаткового сервісного простою оказує ступінь узгодженості прибуття ТЗ. Наявність такого впливу обумовлює нечіткість діапазону отриманих значень рівня резервування та можливість виходу за його допустимі межі. Виходячи з цього задача раціоналізації рівня резервування пропускної спроможності ЗП повинна розглядатися комплексно разом з розробкою єдиного розкладу руху з позицій слот-координації взаємодії суб'єктів МГПТ в ТПВ. Для реалізації такої програми можуть бути використані адаптовані алгоритми відбору допустимих варіантів розкладу руху. Поєднання процедури формування розкладу руху з оцінкою допустимого рівня пропускної спроможності ЗП та часу тривалості додаткового сервісного простою дає можливість досягти ефективного загальнорівневого стану МГПТ.

*Opportunities.* Запропонований підхід відкриває перспективи використання методів технологічного управління раціональним рівнем резервування пропускної спроможності ЗП та дає змогу впровадження інформаційних механізмів координації взаємодії суб'єктів МГПТ. Використовуючи встановлені характеристичні залежності зміни параметрів критерію ефективності можна сформулювати конкретні технологічні вимоги до тривалості простою ТЗ в ЗП. Впровадження в планування розкладу руху на маршрутах обґрунтованих значень тривалості часу простою ТЗ в ЗП забезпечує зниження їх непродуктивного простою та підвищує їх продуктивність. Це позитивно впливає на економічну та ресурсну ефективність роботи пасажирських транспортних підприємств.

*Threats.* Складність визначення раціонального рівня ресурсного забезпечення ЗП полягає у необхідності обліку параметрів роботи маршрутів на всіх його елементах та оцінки рівня завантаження рухом прилеглих ділянок ВДМ. Отримання такої інформації вимагає проведення натурних спостережень за умовами роботи маршрутів МГПТ та режимом руху транспортних потоків. Протягом доби вони можуть значно коливатися, що вимагає отримання їх оперативних значень. Використання об'єктивної інформації про параметри руху ТЗ по маршрутах та стан транспортного потоку дозволить підвищити точність моделі та забезпечити її адаптованість до реальних умов роботи ТПВ. Для

реалізації такого інформаційного забезпечення необхідне облаштування ТЗ засобами моніторингу параметрів їх руху та інтеграція їх у загальну структуру диспетчерського управління МГПТ.

## 8. Висновки

1. Виділено спектр технологічних рішень організації взаємодії в ТПВ, який описує його вплив на умови забезпечення повного використання сервісно-ресурсного потенціалу МГПТ. Цей зв'язок ґрунтується на обліку багаторівневого представлення наслідків роботи ЗП на сервісно-ресурсний потенціал маршрутів, ВДМ та соціальні умови життєдіяльності міського середовища. Представлений контурний зв'язок дозволив обґрунтувати загальну структуру критерію оцінки ефективності функціонування ЗП ТПВ. На відміну від існуючих підходів він враховує міжрівневі умови досягнення сталого стану міського середовища та відображає характеристичний вплив ресурсного забезпечення ЗП на рівень фактичного потенціалу МГПТ та негативний вплив на ВДМ.

2. Експериментальним шляхом встановлено, що сервісні параметри ефективності функціонування ЗП ТПВ залежать від рівня їх ресурсного забезпечення. При збільшенні рівня резервів пропускної спроможності ЗП негативний вплив на час знаходження транзитних пасажирів у ТПВ, тривалість простою ТЗ у черзі, рівень блокування проїжджої частини ВДМ та навколишнє середовище зменшуються за експоненціальною залежністю. Тривалість знаходження в ТПВ пасажирів, які реалізують пересадку залежить від часу додаткового сервісного простою, який є основним механізмом впливу на рівень завантаження. Для виділеного ЗП встановлено, що допустимим значенням з точки зору забезпечення сервісної якості є рівень резерву пропускної спроможності ЗП в межах 0,1–0,4. При збільшенні резерву пропускної спроможності з 0,1 до 0,4:

- середній час загального простою ТЗ знижується в 1,6 рази (з 3,9 хв до 2,4 хв);

- середній час простою ТЗ у черзі знижується в 5,7 рази (з 0,4 хв до 0,07 хв);

- питома вага блокування проїжджої частини знижується в 3,6 рази (з 0,65 до 0,18). Виявлені закономірності зміни ресурсного забезпечення ЗП ТПВ на ефективність його функціонування відображають існуючий реальний стан організації взаємодії МГПТ. Отримані залежності дозволяють на практиці при плануванні роботи маршрутів МГПТ встановити допустимі значення часу простою ТЗ на ЗП ТПВ, при якому досягається необхідний рівень резервного забезпечення. Перспективи розвитку представленої методології полягають у можливості проведення подальших досліджень меж ефективності реалізації оптимізаційних управлінських дій.

## References

1. Ortuzar J. D., Willumsen L. G. Modelling Transport. John Wiley & Sons Ltd., 2006. 499 p.

2. Efficiency and effectiveness in the urban public transport sector: A critical review with directions for future research / Daraio C. et al. // *European Journal of Operational Research*. 2016. Vol. 248, No. 1. P. 1–20. doi:[10.1016/j.ejor.2015.05.059](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.059)
3. Roy W., Yvrande-Billon A. Ownership, contractual practices and technical efficiency: The case of urban public transport in France // *Journal of Transport Economics and Policy*. 2007. Vol. 41, No. 2. P. 257–282.
4. Performance evaluation of public transit systems using a combined evaluation method / Zhang C. et al. // *Transport Policy*. 2016. Vol. 45. P. 156–167. doi:[10.1016/j.tranpol.2015.10.001](https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.10.001)
5. Penshin N. V. Effektivnost' i kachestvo kak faktor konkurentosposobnosti uslug na avtomobil'nom transporte: monograph / ed. by Bychkov V. P. Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2008. 224 p.
6. Sampaio B. R., Neto O. L., Sampaio Y. Efficiency analysis of public transport systems: Lessons for institutional planning // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2008. Vol. 42, No. 3. P. 445–454. doi:[10.1016/j.tra.2008.01.006](https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.01.006)
7. Wang H., Zhou P., Zhou D. Q. An empirical study of direct rebound effect for passenger transport in urban China // *Energy Economics*. 2012. Vol. 34, No. 2. P. 452–460. doi:[10.1016/j.eneco.2011.09.010](https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.09.010)
8. Seliverstov Ya. A., Seliverstov S. A. About using simulation to evaluate the efficiency of the new type of the urban passenger transport // *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova*. 2015. Vol. 3 (31). P. 83–92.
9. Zedgenizov A. V. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya ostanovochnykh punktov gorodskogo passazhirskogo transporta // *Vestnik IrGTU*. 2008. Vol. 3 (35). P. 121–123.
10. 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)
11. Lipenkov A. V., Kuzmin N. A. Opredelenie dopustimogo urovnya intensivnosti dvizheniya gorodskikh avtobusov pri izvestnoy propusknoy sposobnosti ostanovochnogo punkta // *Intellect. Innovatsii. Investitsii*. 2015. Vol. 3. P. 97–102.
12. Ibarra-Rojas O. J., Lopez-Irarragorri F., Rios-Solis Y. A. Multiperiod Bus Timetabling // *Transportation Science*. 2016. Vol. 50, No. 3. P. 805–822. doi:[10.1287/trsc.2014.0578](https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0578)
13. Wu W., Liu R., Jin W. Designing robust schedule coordination scheme for transit networks with safety control margins // *Transportation Research Part B: Methodological*. 2016. Vol. 93. 495–519. doi:[10.1016/j.trb.2016.07.009](https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.07.009)
14. Vdovychenko V., Nagorni Y. Formation of methodological levels of assessing city public passenger transport efficiency // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 3, No. 3 (81). P. 44–51. doi:[10.15587/1729-4061.2016.71687](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71687)