

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.072

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.105.0.97

ВПЛИВ ТРИВАЛОСТІ ПРОСТОЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У ПЕРЕСАДКОВИХ ВУЗЛАХ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА УМОВИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ПЕРЕСАДКИ ПАСАЖИРІВ**Вдовиченко В. О., Підлубний С. Ю.****Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

***Анотація.** У статті розглянуто вплив тривалості простою маршрутних транспортних засобів у транспортно-пересадковому вузлі на параметри синхронізації пересадки пасажирів та конфліктність руху в межах його зупинних пунктів. У процесі аналізу об'єкта дослідження визначено, що можна покращити умови синхронізації пересадки пасажирів за допомогою збільшення тривалості перебування маршрутних транспортних засобів у зупинних пунктах транспортно-пересадкового вузла. Визначено, що ключову роль у синхронізації пересадки пасажирів відіграє час відправлення з початкового зупинного пункту, облік розподілу технічної швидкості, тривалість технологічного простою в проміжних пунктах і тривалість перебування маршрутних транспортних засобів у зупинних пунктах транспортного вузла. За результатами експериментальних досліджень встановлено залежності зміни середнього часу пересадки пасажирів та конфліктності руху маршрутних транспортних засобів для транспортно-пересадкового вузла «вул. Одеська» (м. Харків).*

***Ключові слова:** міський пасажирський транспорт, транспортно-пересадковий вузол, пересадка пасажирів, зупинний пункт.*

Вступ

Ефективна організація транспортного обслуговування міським пасажирським транспортом (МПТ) передбачає впровадження сукупності організаційних заходів, що містять такі ключові елементи [1–3]:

- формування раціональних маршрутів та розроблення графіків їх роботи;
- упровадження швидкісних ліній та режимів пасажирського сполучення;
- підвищення надійності роботи та застосування нових видів транспорту;
- удосконалення технологічних процесів взаємодії маршрутів у межах об'єктів транспортної інфраструктури;
- упровадження інтелектуальних систем управління транспортом.

Серед основних завдань підвищення ефективності роботи МПТ провідну роль відіграє скорочення часу пересування пасажирів. Окрім скорочення часу поїздки, необхідно створити умови для ліквідації очікування транспортних засобів (ТЗ) у пунктах пересадки пасажирів. Ключовим елементом таких заходів є синхронізація розкладу руху та одночасне перебування ТЗ у транспортно-пересадковому вузлі (ТПВ). У реальних умовах руху по елементах вулично-дорожньої мережі (ВДМ) виникають відхилення роз-

кладу руху, що ускладнює процеси синхронізації та негативно впливає на умови пересадки пасажирів. Поряд з узгодженням розкладу руху доцільно розглянути можливість упровадження додаткового простою ТЗ на зупинних пунктах (ЗП) ТПВ. Це дасть змогу збільшити діапазон можливого одночасного перебування ТЗ в ТПВ. Зазначений підхід розглядається як складник програми синхронізації руху ТЗ через ТПВ, але потребує аналізу щодо впливу на стан взаємодії маршрутних потоків.

Аналіз публікацій

Проблема комплексного розвитку взаємодії елементів маршрутного потоку та синхронізації руху для різних маршрутів МПТ розв'язується в умовах упровадження єдиної комплексної програми, що охоплює не тільки внутрішні технологічні процеси роботи рухомого складу, але й зовнішні елементи, які взаємодіють із транспортною системою (ВДМ, попит на перевезення, інформаційне забезпечення тощо) [4–8].

У роботах [4, 5] автори зазначають, що синхронізація руху в єдиній системі МПТ передбачає:

- єдине планування, контроль і регулювання роботи різних маршрутів МПТ у

часі та просторі з метою найбільш доцільного розподілення між ними пасажиропотоків за критеріями мінімуму сумарних витрат транспортного часу населення;

- облік особливостей експлуатації різних видів МПТ і виділення для кожного з них оптимальної зони використання, яка б забезпечувала можливість досягнення максимальних експлуатаційних показників транспортної роботи та якісних показників обслуговування пасажирів;

- установа науково обґрунтованих пропорцій розвитку різних ліній сполучень МПТ та розподіл пасажиропотоків між ними.

Наведені підходи належать до загальних принципів стратегічного розвитку міських транспортних систем і призначені для формування систем загального управління.

Автори студій [6–8] вважають, що комплексна синхронізація та координація планування перевезень, організації руху та узгодженого управління маршрутами всіх видів пасажирського транспорту в місті також передбачає:

- установа єдиних якісних показників обслуговування населення та узгоджених критеріїв оцінювання діяльності [6, 7];

- комплексне вивчення розподілення пасажиропотоків, спільне оброблення та аналіз результатів обстеження [6–8];

- розроблення єдиної маршрутної системи та її узгоджене уточнення відповідно до характеру розподілу пасажиропотоків у місті, узгоджене розміщення ЗП у пересадкових вузлах [8];

- спільне нормування швидкостей руху та узгодження швидкості ТЗ на сумішених напрямках [6];

- розроблення комплексних заходів із підвищення безпеки руху, пропускної та провізної спроможності транспорту [6–8].

Запропоновані підходи до синхронізації руху МПТ насамперед спрямовані на реорганізацію маршрутної системи МПТ та встановлення раціональних параметрів роботи маршрутів.

В умовах масового насичення міст легковими автомобілями особистого користування виникає та потребує рішення проблема раціональної організації спеціальних смуг руху для МПТ. У роботі [9] розглядається підвищення рівня якості транспортного обслуговування пасажирів унаслідок стабілізації параметрів руху маршрутних ТЗ на ділянках ліній ВРТ. Однак створення спеціальних умов руху для МПТ потребує забезпечення

балансу між пропускною спроможністю ВДМ руху та інтенсивністю транспортного потоку. Це призводить до того, що впровадження таких заходів на практиці здебільшого є обмеженим через відсутність достатнього простору.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є визначення впливу тривалості простою маршрутних транспортних засобів у ЗП на параметри синхронізації пересадки пасажирів у ТПВ.

Для досягнення окресленої мети потрібно виконати такі завдання:

- розробити структурну модель визначення тривалості пересадки пасажирів у ТПВ на основі обліку параметрів руху та простою маршрутних ТЗ;

- на основі експериментальних досліджень встановити зміну часових параметрів пересадки пасажирів залежно від тривалості перебування ТЗ в ТПВ.

Виклад основного матеріалу

Ефективна організація взаємодії маршрутних потоків у ТПВ спрямована на виконання двох основних завдань:

- раціональний розподіл транзитних пасажирських потоків між напрямками та видами транспорту;

- скорочення часу міжмаршрутної пересадки пасажирів.

Реалізація цих завдань потребує використання інформаційного простору. На рис. 1 зображена загальна схема інформаційного обміну в процесі взаємодії в межах ТПВ.

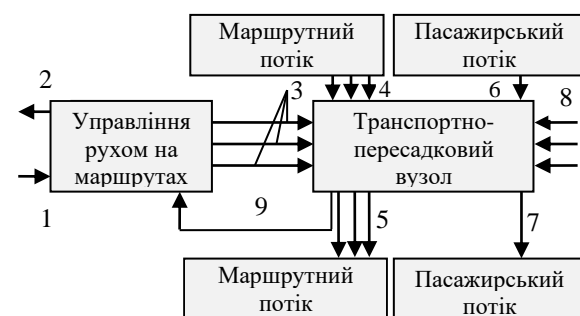


Рис. 1. Схема інформаційного простору в ТПВ

На рис. 1 використані такі умовні позначки: 1 – інформація, що надходить від служб моніторингу за міською транспортною системою та від органів управління; 2 – інформація про роботу маршрутів і параметри руху на ділянках мережі; 3 – керуючі дії, спря-

мовані на організацію ефективної взаємодії в ТПВ; 4, 5 – входи та виходи транспортного вузла, якими є маршрутні потоки МПТ; 6, 7 – входи та виходи, якими є пасажирські потоки; 8 – різні зовнішні впливи, в умовах яких функціонує ТПВ; 9 – зворотний зв'язок системи управління, що фіксує рівень досягнення результату. Базовою інформацією, що значно впливає на умови ефективної взаємодії та визначає стан синхронізації пересадки в межах ТПВ, є часові параметри прибуття ТЗ маршрутних потоків. Під маршрутним потоком розуміється сукупність прибуття ТЗ певних маршрутів МПТ. ТПВ функціонує в умовах різних зовнішніх впливів, серед яких важливу роль відіграє коливання тривалості руху по ділянках ВДМ перед ТПВ. Це виявляється внаслідок відхилення в часі прибуття ТЗ до ТПВ.

У розробленні синхронізованого розкладу руху основні керуючі дії спрямовують на забезпечення умов одночасної організації маршрутів, між якими здійснюється пересадка пасажирів. Мінімізація витрат часу на здійснення пересадки можлива в разі, коли одночасно в межах зупинних пунктів ТПВ перебуватимуть ТЗ всіх маршрутів пересадки. У цьому разі можлива пересадка пасажирів між ТЗ, що є поруч, без очікування їх прибуття. Однак одночасне перебування ТЗ на ЗП в кількості, що перевищує їх пропускну здатність, спричинить конфліктну ситуацію [10]. А це зі свого боку негативно вплине на безпеку дорожнього руху. Щодо зручності організації руху на маршрутах і суміжних ЗП ефективною є така організація руху, за якої ТЗ кожного маршруту може перебувати в ТПВ у межах окремо виділеного періоду часу. Такий період в транспортному плануванні називається «слот». Слот-координація дає змогу розподілити весь час на окремі відрізки, протягом яких прибувають певні рейси маршрутів. Це робиться таким чином, щоб усунути одночасне перебування значної кількості ТЗ в ЗП [11]. Тривалість такого «слоту» має забезпечувати можливість пересадок пасажирів без очікування та відсутність конфліктів руху ТЗ, що прибувають до ЗП. Наявність суперечності щодо збільшення тривалості одночасного перебування ТЗ в ТПВ та зниження конфліктності руху за допомогою зміни тривалості «слоту» призводить до необхідності аналізу загальної структурної моделі, що відтворює ймовірність виникнення типових станів у ЗП. Така модель побудована у вигляді ланцюга, що від-

творює умови переходу станів ЗП залежно від параметрів вхідного маршрутного потоку, нерівномірності прибуття ТЗ, місткості та пропускної спроможності ЗП. На рис. 2 поданий загальний вигляд моделі формування станів взаємодії маршрутних потоків у ТПВ.

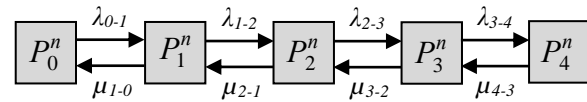


Рис. 2. Граф станів взаємодії маршрутних потоків у ТПВ

Зображений ланцюг відтворює зміну стану обслуговування пасажирів і стану організації руху в ТПВ. Базовим об'єктом є зупинний пункт ТПВ. Виокремлено такі типи його станів: P_0^n – найкращий варіант, час очікування пересадки пасажирями відсутній, конфліктна ситуація в ЗП відсутня; P_1^n – час очікування пересадки пасажирями коливається в допустимих межах (до 5 хв), конфліктна ситуація відсутня; P_2^n – час очікування пересадки пасажирями триває поза допустимими межами (понад 5 хв), конфліктна ситуація відсутня; P_3^n – час очікування пересадки пасажирями коливається в допустимих межах (до 5 хв), присутня конфліктна ситуація руху МПТ; P_4^n – час очікування пересадки пасажирями триває поза допустимими межами (понад 5 хв), присутня конфліктна ситуація руху.

Перехід між станами в напрямі погіршення стану об'єкта обслуговування $P_0^n \rightarrow P_1^n \rightarrow P_2^n \rightarrow P_3^n \rightarrow P_4^n$ відбувається під дією потоків $\lambda_{0-1}, \lambda_{1-2}, \lambda_{2-3}, \lambda_{3-4}$, що характеризуються показниками, які призводять до збою часових параметрів стабільності руху на ділянках маршрутної мережі до ТПВ та зниження рівня синхронізації розкладу руху. Перехід у напрямку стабілізації $P_4^n \rightarrow P_3^n \rightarrow P_2^n \rightarrow P_1^n \rightarrow P_0^n$ досягається потоками обслуговування $\mu_{4-3}, \mu_{3-2}, \mu_{2-1}, \mu_{1-0}$. Потік μ відтворює забезпечення умов синхронізації розкладу руху на маршрутах пересадки. Керувати цим потоком можна способом створення вільних умов руху маршрутних ТЗ на ділянках ВДМ, за допомогою встановлення часу відправлення з початкових пунктів або визначення певної тривалос-

ті їх простою в зоні ЗП (довжини «слоту»). Вільні умови руху маршрутних ТЗ забезпечуються впровадженням спеціальних смуг МПТ та дають змогу компенсувати відхилення прибуття до ТПВ способом нагону або уповільнення руху на ділянках ВДМ перед ТПВ. Загальна тривалість простою ТЗ в ЗП («слоту») має забезпечувати компенсацію часу відхилення їх прибуття до ТПВ. Потік μ_{1-0} залежить від дотримання розкладу руху, що визначається умовами сталості рухових операцій на ділянках мережі до ТПВ та тривалості перебування ТЗ в ЗП. Процедура визначення переходу між станами $P_0^n \rightarrow P_1^n \rightarrow P_2^n \rightarrow P_3^n \rightarrow P_4^n$ може бути виконана за допомогою статистичного оцінювання відхилення прибуття ТЗ з огляду на моделювання руху ТЗ по мережі. Основна мета управління ТПВ полягає в забезпеченні найбільшої кількості станів P_0^n . Ключовим у цьому є мінімізація часу перебування пасажирів у ТПВ, що здійснюють міжмаршрутні пересадки. Час перебування пасажирів в ТПВ може бути визначений на основі встановлення моменту підходу пасажирів до ЗП, що залежить від прибуття ТЗ на базовому маршру-

ті та часу відправлення на маршрут пересадки

$$t_o^n = t_o^a - t_c^n, \quad (1)$$

де t_o^a – момент відправлення ТЗ, на який здійснюється пересадка пасажирів, год; t_c^n – момент прибуття пасажирів до ЗП з базового маршруту, год.

Момент t_c^n відповідає фактичному часу подачі ТЗ до ЗП та визначається із залежності

$$t_c^n = t_e^a + t_n^a + t_o^n, \quad (2)$$

де t_e^a – момент відправлення ТЗ за розкладом руху з початкового ЗП, год; t_n^a – час руху транспортного засобу до зупинного пункту ТПВ, год; t_o^a – час переходу пасажирів між зупинними пунктами в ТПВ, год.

Процедуру формування умов синхронізації часу пересадки пасажирів у ТПВ можна подати у вигляді структурного контура функціонального зв'язку (рис. 3).

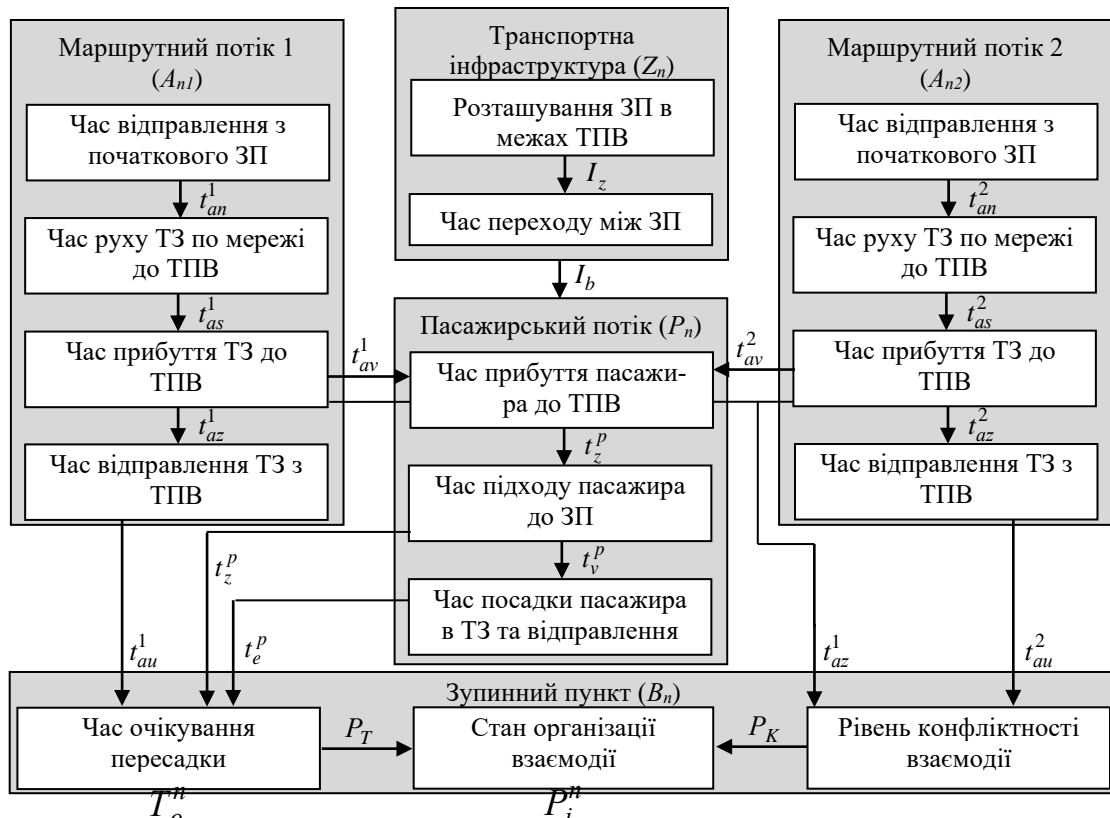


Рис. 3. Схема структурного контура функціонального зв'язку елементів синхронізації часу пересадки пасажирів у ТПВ

Вербальний опис процесів передбачає встановлення характеру та взаємодії між елементами об'єкта дослідження. Основними субсередовищами виокремлюють: маршрутний потік ($A_{n1}, A_{n2}, \dots, A_{ni}$), сформований на основі інформації про параметри руху на маршрутах, що взаємодіють у межах окремих ЗП ТПВ; транспортна інфраструктура (Z_n), до якої належить розташування ЗП в межах траси маршрутів та ТПВ; пасажиропотік (P_n), що визначається на основі інформації про прибуття до ТПВ пасажирів із суміжних маршрутів та прилеглої території. У межах кожного окремого маршрутного потоку ($A_{n1}, A_{n2}, \dots, A_{ni}$) визначається час відправлення транспортного засобу з початкового пункту (t_{an}^1). Цей час є керованою величиною та може бути встановлений на основі розроблення програми синхронізації розкладу руху. Залежно від відстані між початковим ЗП (l_{s1}) з огляду на зміни швидкості (V_{s1}) визначається час руху ТЗ по мережі до ТПВ (t_{as}^1). Швидкість руху по ділянках ВДМ у цьому разі має ймовірнісний характер та є випадковою величиною. Після цього встановлюється час прибуття ТЗ до ЗП ТПВ (t_{az}^1). Ця величина належить також до випадкових і може бути встановлена, зважаючи на відхилення часу руху. Причиною цього є те, що існує статистичний шум розподілу швидкості руху по ділянках мережі. Залежно від тривалості простою ТЗ (t_{ar}^1) у ЗП визначається час відправлення (t_{au}^1) з ТПВ. Таким чином час прибуття ТЗ є визначальним для встановлення часу підходу пасажирів до ЗП відправлення (t_{av}^1). Це стосується саме транзитних пасажирів, які прибувають до ТПВ з інших маршрутів. Аналогічно, встановивши інформацію за часовими параметрами руху та прибуття ТЗ на маршруті пересадки, можна визначити час прибуття до ТПВ та час його відправлення. Зіставлення часу прибуття ТЗ першого (t_{av}^1) та другого маршрутів (t_{av}^2) разом із розрахунком часу переміщення між зупинними пунктами пасажирів (t_z^p) дає змогу встановити час підходу пасажирів до ЗП. Залежності від часу відправлення транспортного засобу (t_{au}^1) маршруту, на якому переміщується пасажир у подальшому спо-

лученні, визначається час його перебування в ТПВ (t_v^p). Час очікування пересадки є складником критерію оцінювання ефективності взаємодії в ТПВ. Окрім скорочення часу пересадки пасажирів, необхідно уникати виникнення конфліктних ситуацій руху ТЗ. Це зумовлено тим, що в разі одночасного руху ТЗ в кількості, що перевищує пропускну спроможність ЗП, виникають умови для погіршення безпеки їх руху. Поєднання інформації про час очікування пасажирів та визначення рівня конфліктності руху дає змогу встановити стан організації взаємодії в ТПВ (P_i^n). Основною метою синхронізації є формування таких ситуацій, за яких буде забезпечено мінімальний час очікування пересадки (T_o^n) у разі безконфліктних умов руху (K_m^b).

Окрім детального опису зв'язків, важливим є розроблення концептуальної моделі дослідження процесів. Модель має подавати вхідні, вихідні, керовані та випадкові величини в загальному вигляді. Структурна модель взаємодії суб'єктів маршрутного потоку в ТПВ наведена на рис. 4.

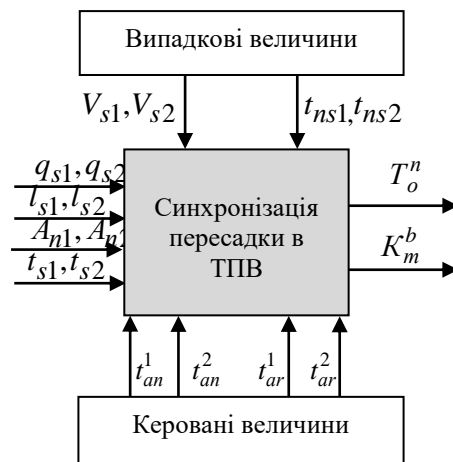


Рис. 4. Структурна модель взаємодії суб'єктів маршрутного потоку в ТПВ

До вхідних параметрів моделі належать: q_{s1}, q_{s2} – обсяг пасажирів, що здійснює пересадку між маршрутами, пас.; l_{s1}, l_{s2} – відстань між початковим ЗП та ТПВ, км; A_{n1}, A_{n2} – інтенсивність маршрутного потоку на маршрутах, що прибувають до ТПВ, авт./год; t_{s1}, t_{s2} – час переходу між ЗП ТПВ, що витрачає пасажир, год. Випадкові величини: V_{s1}, V_{s2} – технічна швидкість на ділян-

ках ВДМ від початкового ЗП до ТПВ, км/год; t_{ns1}, t_{ns2} – час простою на проміжних ЗП, год. Керовані величини: t_{an}^1, t_{an}^2 – час відправлення транспортного засобу із ЗП, год; t_{ar}^1, t_{ar}^2 – час простою транспортного засобу в ЗП ТПВ, год. Вихідні характеристики: T_o^n – середній час очікування пасажирами пересадки в ТПВ, год; K_m^b – рівень конфліктності руху маршрутних ТЗ. Наведені загальні концепти моделі дають змогу подати у формалізованому вигляді процес визначення раціональних значень тривалості перебування ТЗ в ЗП за умови мінімізації витрат часу на пересадку та рівня конфліктності руху.

Серед основних вимог, що висуваються до критерію оцінювання ефективності, є його цільова спрямованість, що полягає в забезпеченні відповідності поданої функції до мети вдосконалення взаємодії в ТПВ. Покращення транспортного обслуговування пасажирів у ТПВ полягає в скороченні витрат часу на пересадку. Тому як основний критерій застосовано час пересадки пасажирів. Також необхідно брати до уваги умови щодо забезпечення відсутності конфліктних ситуацій руху в ТПВ. Доцільно застосувати методику використання основного критерію. У цьому разі ним є час пересадки пасажирів. А другорядний критерій описує конфліктність руху. Він є складником системи обмеження цільової функції. Зважаючи на наведене вище, можна подати критерій ефективності у вигляді екстремуму функції

$$T_o^n \rightarrow \min . \quad (3)$$

Система обмежень має такий вигляд:

$$\begin{cases} q_{s \min} \leq q_{s1}, q_{s2} \leq q_{s \max}; \\ l_{s \min} \leq l_{s1}, l_{s2} \leq l_{s \max}; \\ A_{n \min} \leq A_{n1}, A_{n2} \leq A_{n \max}; \\ t_{s \min} \leq t_{s1}, t_{s2} \leq t_{s \max}; \\ K_m^b = 0; \end{cases} \quad (4)$$

де $q_{s \min}, q_{s \max}$ – мінімальний та максимальний рейсовий обсяг пересадки пасажирів між маршрутами, пас.; $l_{s \min}, l_{s \max}$ – мінімальна та максимальна відстань між початковим ЗП та ТПВ, км; $A_{n \min}, A_{n \max}$ – мінімальна та

максимальна інтенсивність маршрутного потоку, що прибуває до ТПВ, авт./год; $t_{s \min}, t_{s \max}$ – мінімальний та максимальний час переходу між ЗП, год; K_m^b – кількість конфліктних ситуацій, од.

На основі формалізації поданого контурного зв'язку, складників моделі та визначеного загального виду критерію ефективності можна записати цільову функцію

$$T_o^n = \frac{\sum_{i=1}^{q_{s1}} (t_{e_i}^p - t_{z_i}^p) + \sum_{j=1}^{q_{s2}} (t_{e_j}^p - t_{z_j}^p)}{q_{s1} + q_{s2}} \rightarrow \min , \quad (5)$$

де $t_{z_i}^p$ – момент прибуття пасажира в ЗП ТПВ, год; $t_{e_i}^p$ – момент відправлення пасажира із ЗП ТПВ, год; q_{s1} – кількість пасажирів, що прибувають на першому маршруті, пас.; q_{s2} – кількість пасажирів, що прибувають на другому маршруті, пас.

Наведена цільова функція потребує деталізації у вигляді набору аналітичних моделей, що визначають її складові параметри взаємодії. До основних параметрів аналітичних моделей, які необхідно встановити в процесі моделювання, належать:

- час прибуття ТЗ до ТПВ;
- час руху ТЗ до ТПВ;
- час перебування пасажира в ТПВ;
- тривалість очікування пасажиром відправлення в ТПВ;
- загальна тривалість операції, що виконуються в ТПВ.

Час руху до ТПВ залежить від тривалості технологічних операцій на мережі та може бути визначений як сума часу, що витрачається на їх виконання

$$t_{as} = \frac{l_s}{V_s} + n_{n3} \cdot t_{n3}, \quad (6)$$

де l_{s1} – відстані між початковим ЗП та ТПВ, км; V_s – технічна швидкість руху по ділянках маршруту до ТПВ, км/год; n_{n3} – кількість проміжних ЗП до ТПВ; t_{n3} – середній час простою на ЗП, год.

Наявність стохастичних процесів призводить до того, що час прибуття ТЗ до ТПВ з кожного рейсу має певне відхилення. Випадковість береться до уваги на етапі моделю-

вання з огляду на використання різних значень швидкості руху та часу простою на проміжних ЗП. Разом із показниками обслуговування пасажирів критерій ефективності передбачає обмежене виникнення конфліктних ситуацій. Кількість конфліктних ситуацій у ЗП визначається за формулою [10]

$$K_m^b = \sum_{i=1}^{T_u} N_k, N_k = 1 \text{ при } T_3 > 1, \quad (7)$$

де T_u – кількість моментів часу в періоді; N_k – кількість ТЗ, що перебувають одночасно в ЗП.

Інші аналітичні моделі наведені в [12]. Надалі їх застосування реалізується у вигляді імітаційної моделі для оцінювання витрат часу на пересадку в ТПВ і встановлення рівня конфліктності руху маршрутних ТЗ. Прикладним об'єктом для моделювання синхронізації руху обрано сполучення тролейбусного маршруту № 5 «Аеропорт – вул. Університетська» та автобусного маршруту № 170 «станція Основа – вул. Наталії Ужвій» (м. Харків). ТЗ вказаних маршрутів прибувають до ЗП № 1 та № 4 ТПВ «вул. Одеська» (м. Харків). На основі візуального методу обстежено пасажирообмін для зазначених ЗП у різні періоди доби (табл. 1).

Таблиця 1 – Розподіл обсягу відправлення із ЗП № 1 та № 4 у часі

Номер ЗП	Кількість пасажирів, що відправляються, пас.			
	Ранок 6 ⁰⁰ – 10 ⁰⁰	День 10 ⁰⁰ – 15 ⁰⁰	Вечір 15 ⁰⁰ – 22 ⁰⁰	Разом проти- гом дня
№ 1	485	209	456	1150
№ 4	672	768	480	1920

Наступним кроком було встановлення для ранкового періоду характеру формування пасажиропотоку в ЗП. Кількість пасажирів, що прибувають до ЗП, фіксувалася відповідно до типового моменту часу, який дорівнює 1 хв. Період проведення обстеження покриває найбільш напружений час, а саме – ранковий період «пік» з 7⁰⁰ до 8⁰⁰. Потік пасажирів, що прибувають, є неординарним. Його формування відповідає моментам прибуття суміжних ТЗ з огляду на час на здійснення переходу пасажирів до ЗП.

На основі статистичного оброблення встановлено розподіли частот випадкових величин.

На рис. 5 наведено розподіл технічної швидкості руху на ділянці перед ТПВ для автобусного маршруту № 170.

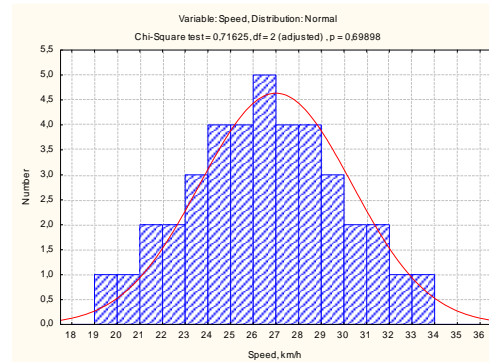


Рис. 5. Розподіл технічної швидкості руху на маршруті № 170

Результати перевірки гіпотез про закони розподілу параметрів руху ТЗ на ділянках ВДМ та простою в проміжних ЗП довів, що гіпотези про нормальний закон розподілу не відхиляються.

У дослідженні з імітаційною моделлю необхідно провести правильно сплановану серію експериментів і коректно інтерпретувати результати моделювання. Базовою гіпотезою є встановлення моделей у вигляді функцій:

$$T_o^n = f(t_{an}^1, t_{an}^2, t_{ar}^1, t_{ar}^2), \quad (8)$$

$$K_m^b = f(t_{an}^1, t_{an}^2, t_{ar}^1, t_{ar}^2), \quad (9)$$

де t_{an}^1, t_{an}^2 – час відправлення ТЗ суміжних маршрутів із початкових пунктів, год; t_{ar}^1, t_{ar}^2 – час простою ТЗ в ЗП ТПВ, год.

Час відправлення ТЗ суміжних маршрутів із початкових ЗП встановлюється на етапі планування розкладу руху та приймається величиною, що не може змінюватися. Тому основним елементом управління синхронізацією є параметри простою ТЗ в ЗП ТПВ (t_{ar}^1, t_{ar}^2). Послідовність проведення експерименту передбачає встановлення різних значень простою ТЗ для пари маршрутів, що проходять через суміжні ЗП. Зупинними є пункти № 1 та № 4 ТПВ «вул. Одеська» (м. Харків). Вони використовуються для забезпечення відправлення пасажирів на маршрутах № 5 «Аеропорт – вул. Університетська» та № 170 «станція Основа – вул. Наталії Ужвій». Потрібно обрати основний рівень та інтервал варіювання вхідного фактора –

часу простою ТЗ на ЗП (t_{ar}^1, t_{ar}^2), який буде безпосередньо використаний в експерименті. Фактор $t_{ar}^i \in (t_{ar}^{\min}, t_{ar}^{\text{mid}}, t_{ar}^{\max})$ подається для кожного маршруту трьома рівнями: t_{ar}^{\min} – мінімальна тривалість простою ТЗ (90 с); t_{ar}^{mid} – середній час простою (180 с); t_{ar}^{\max} – максимальна тривалість простою ТЗ (270 с). У повному факторному експерименті реалізуються всі можливі сполучення цих рівнів. Мета аналізу експериментальних показників – практична інтерпретація встановлених у процесі моделювання характеристичних зв'язків. Такі умови дають змогу наблизити експеримент до реальних умов.

На рис. 6–9 зображені графіки зміни складників критерію ефективності залежно від тривалості простою ТЗ.

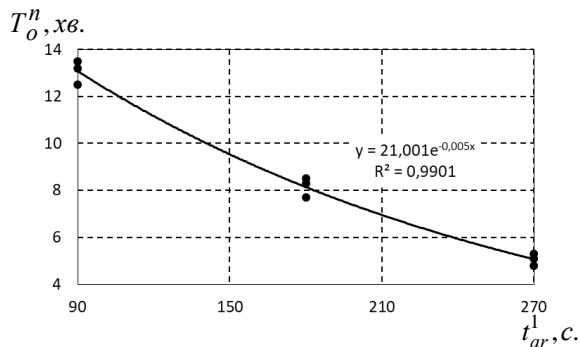


Рис. 6. Вплив тривалості простою ТЗ на час пересадки пасажирів (маршрут № 5, ЗП № 1)

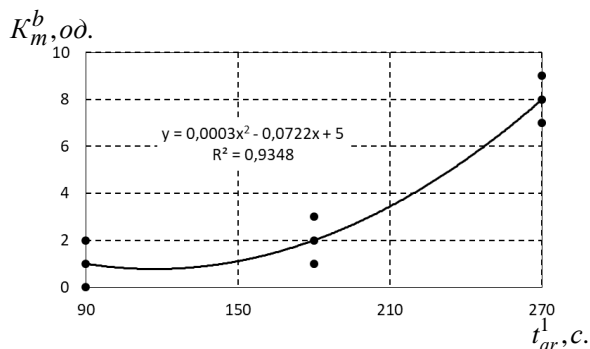


Рис. 7. Вплив тривалості простою ТЗ на рівень конфліктності руху (маршрут № 5, ЗП № 1)

Аналізу добутих залежностей зміни середнього часу пересадки пасажирів та рівня конфліктності від часу простою ТЗ в ЗП дав змогу встановити наявність характеристичного зв'язку. У межах ЗП № 1, де обслуговується маршрут № 5, збільшення часу простою ТЗ позитивно вплине на скорочення тривалості міжмаршрутної пересадки.

За умови тривалості перебування ТЗ 90 с середній час пересадки пасажирів становитиме 13,2 хв; у разі збільшення до 180 с час пересадки скорочується до 8,3 хв; якщо тривалість простою 270 с, середній час пересадки становить 5,1 хв.

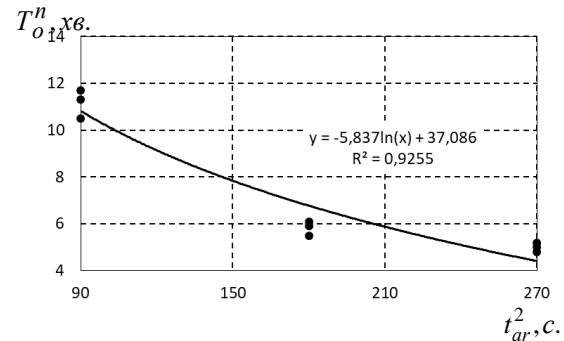


Рис. 8. Вплив тривалості простою ТЗ на час пересадки пасажирів (маршрут № 170, ЗП № 4)

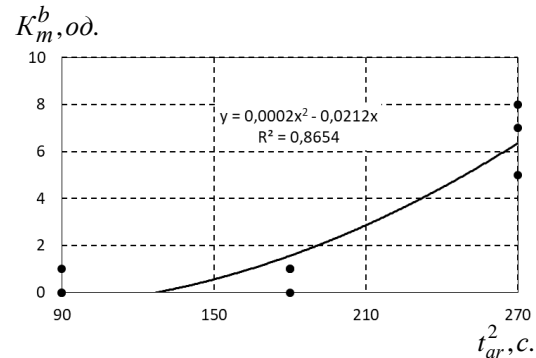


Рис. 9. Вплив тривалості простою ТЗ на рівень конфліктності руху (маршрут № 170, ЗП № 4)

Це пояснюється тим, що збільшення простою ТЗ в межах ЗП дає змогу компенсувати відхилення моментів їх прибуття до ТПВ. Це значно підвищує надійність та ефективність синхронізації пересадки пасажирів. Однак збільшення часу простою ТЗ в ЗП причиняє ймовірність виникнення конфліктних ситуацій. Так, за умови простою 90 с можливе виникнення лише однієї конфліктної ситуації протягом розрахункового періоду; у разі збільшення тривалості простою до 180 с кількість конфліктних ситуацій може зрости до 2; якщо збільшення тривалості простою досягатиме 270 с, кількість конфліктних ситуацій стрімко зросте та становитиме 8 од. Залежність кількості конфліктних ситуацій від тривалості простою ТЗ описується поліномом другого ступеня та має високий рівень кореляції, що дозволяє використовувати його для визначення раціональних параметрів перебування ТЗ в ТПВ. Для ЗП

№ 4 зміна часу пересадки пасажирів і рівня конфліктності руху має аналогічний характер. Встановлено, що збільшення часу простою ТЗ дає змогу скоротити час міжмаршрутної пересадки за умов попередньої синхронізації розкладів руху. У разі тривалості простою 90 с середній час пересадки становитиме 10,5 хв; якщо він збільшиться до 270 с, середній час пересадки може бути зменшений до 5,2 хв. Як і для ЗП № 1, існує аналогічна ситуація щодо зміни конфліктності руху залежно від тривалості простою ТЗ. Унаслідок аналізу добутих залежностей можна визначити, що раціональним є впровадження періоду перебування ТЗ в ЗП (слоту) на рівні 180 с. За таких умов рівень конфліктності є низьким і суттєво не впливає на організацію руху через ТПВ. Водночас можливе скорочення середнього часу пересадки пасажирів з 13 хв до 8 хв для ЗП № 1 та з 10 хв до 6 хв для ЗП № 4. Упровадження простою тривалістю 270 с значно скоротить пересадку, але потребуватиме розширення посадкового майданчика для розміщення одночасно декількох ТЗ.

Висновки

Серед важливих напрямів удосконалення роботи МПТ є завдання синхронізації маршрутного розкладу руху ТЗ як дієвого механізму скорочення часу пересування пасажирів. Це дозволить підвищити якість транспортного обслуговування населення внаслідок скорочення витрат часу на здійснення міжмаршрутних пересадок.

У процесі аналізу об'єкта й предмета дослідження визначено, що ТПВ має забезпечувати ефективну пересадку пасажирів між суміжними маршрутами з мінімізацією часу очікування. Ключову роль у цьому відіграє управління процесами руху та часу перебування ТЗ в ТПВ. На основі інформації про зміну тривалості руху на ділянках ВДМ можна встановити діапазони одночасного перебування ТЗ у межах ТПВ. Розроблений контур функціональних зв'язків дав змогу подати процес руху ТЗ через ТПВ як комплексну систему синхронізації взаємодії маршрутних потоків. Перехід системи в напрямку стабілізації параметрів обслуговування досягається внаслідок синхронізації руху ТЗ і впровадження раціональної тривалості їх перебування в ЗП ТПВ.

Основна мета управління маршрутними потоками полягає в забезпеченні максимально можливого одночасного перебування ТЗ в

ТПВ. Розроблена схема структурного контура функціонального зв'язку об'єкта дослідження дозволила визначити інформаційні потоки та порядок взаємодії між елементами системи обслуговування. Сформований критерій ефективності передбачає, що основною функцією є мінімізація часу пересадки, а конфліктність руху маршрутних ТЗ є елементом системи обмеження.

За результатами моделювання отримано залежності зміни часу пересадки та конфліктності руху для ЗП міжмаршрутної пересадки ТПВ «вул. Одеська» (м. Харків). Установлено, що за наявних умов для ЗП № 1 та № 4 раціональним є тривалість простою маршрутних ТЗ в ЗП у межах 180 с. Це дасть змогу скоротити час міжмаршрутної пересадки та забезпечити низький рівень конфліктності руху.

Література

1. Bashynska I., Biskup V., Kuz'kin O., Hryzovska L., Shapoval G. Improving Management Decisions in Urban Passenger Transport Based on the Sociological Study. *International Journal of Industrial Engineering and Production Research*. 2020. Vol. 31. No. 4. 491–498. <https://doi.org/10.22068/ijiepr.31.4.491>
2. Іщенко В.А., Харута В.С. Аналіз особливостей проєктів пасажирських перевезень. *Управління розвитком складних систем*. 2024. № 57, 27–35. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.57.27-35>
3. Petrovska S., Haidai H., Levchuk N., Lavryk H. Meta-analysis of the results of researching the quality of city passenger transportation. *Economic Bulletin of Dnipro University of Technology*. 2022. 79. 148–155. <https://doi.org/10.33271/ebdut/79.148>
4. Liu T., Ceder A. Communication-based cooperative control strategy for public transport transfer synchronization. *Transportation Research Record*, 2016. 2541, 27–37. <https://doi.org/10.3141/2541-04>
5. Liu T., Cats O., Gkiotsalitis K. A review of public transport transfer coordination at the tactical planning phase. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2021. 133, 103450.
6. Ibarra-Rojas O.J., Munoz J.C., Giesen R., Knapp P. Integrating frequency setting, timetabling, and route assignment to synchronize transit lines. *Journal of Advanced Transportation*. 2019. 1–13. <https://doi.org/10.1155/2019/9408595>
7. Gavriilidou A., Cats O. Reconciling transfer synchronization and service regularity: Real-time control strategies using passenger data. *Transportmetrica A: Transport Science*, 2019. № 15(2), 215–243. <https://doi.org/10.1080/23249935.2018.1458757>

8. Nesheli M.M., Ceder A., Ghavamirad F., Thacker S. Environmental impacts of public transport systems using real-time control method. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017. № 51, 216–226. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.12.006>
9. Zhang M., Yen B.T. The impact of Bus Rapid Transit (BRT) on land and property values: A meta-analysis. *Land Use Policy*. 2020. 96. P. 104–126. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104684>
10. Markevych A., Vdovychenko V., Ivanov I. Influence of bus service downtime in the transport interchange on the duration of inter-route transfer of passengers. *Technology Audit and Production Reserves*. 2021. № 3/2(59). 6–10. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.231465>
11. Вдовиченко В.О. Слот-координація руху міського громадського пасажирського транспорту в умовах транспортно-пересадочних терміналів. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2017. № 5(106). С. 51–55.
12. Vdovychenko V. Influence of reserve of carrying capacity of mass of points is on the sentinel parameters of outage of passenger of transport vehicles. *Technology audit and production reserves*. 2018. № 1/2(39). 69–76. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.123604>

References

1. Bashynska I., Biskup V., Kuz'kin O., Hryzovska L., Shapoval G. Improving Management Decisions in Urban Passenger Transport Based on the Sociological Study. *International Journal of Industrial Engineering and Production Research*. 2020. Vol. 31. No. 4. 491–498. <https://doi.org/10.22068/ijiepr.31.4.491>
2. Ishchenko V., Kharuta V. Analysis of the features of passenger transportation projects. *Management of Development of Complex Systems*. 2024. № 57, 27–35. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.57.27-35> [in Ukrainian].
3. Petrovska S., Haidai H., Levchuk N., Lavryk H. Meta-analysis of the results of researching the quality of city passenger transportation. *Economic Bulletin of Dnipro University of Technology*. 2022. 79. 148–155. <https://doi.org/10.33271/ebdut/79.148>
4. Liu T., Ceder A. Communication-based cooperative control strategy for public transport transfer synchronization. *Transportation Research Record*, 2016. 2541, 27–37. <https://doi.org/10.3141/2541-04>
5. Liu T., Cats O., Gkiotsalitis K. A review of public transport transfer coordination at the tactical planning phase. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2021. 133, 103450.
6. Ibarra-Rojas O.J., Munoz J.C., Giesen R., Knapp P. Integrating frequency setting, timetabling, and route assignment to synchronize transit lines. *Journal of Advanced Transportation*. 2019. 1–13. <https://doi.org/10.1155/2019/9408595>
7. Gavriilidou A., Cats O. Reconciling transfer synchronization and service regularity: Real-time control strategies using passenger data. *Transportmetrica A: Transport Science*, 2019. № 15(2), 215–243. <https://doi.org/10.1080/23249935.2018.1458757>
8. Nesheli M.M., Ceder A., Ghavamirad F., Thacker S. Environmental impacts of public transport systems using real-time control method. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017. № 51, 216–226. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.12.006>
9. Zhang M., Yen B.T. The impact of Bus Rapid Transit (BRT) on land and property values: A meta-analysis. *Land Use Policy*. 2020. 96. P. 104–126. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104684>
10. Markevych A., Vdovychenko V., Ivanov I. Influence of bus service downtime in the transport interchange on the duration of inter-route transfer of passengers. *Technology Audit and Production Reserves*. 2021. 3/2 (59). 6–10. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.231465>
11. Vdovychenko V. Slot coordination of motion of urban public passenger transport in the conditions of transport-transplantation terminal. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. 2017. №5(106). С. 51–55. [in Ukrainian].
12. Vdovychenko V. Influence of reserve of carrying capacity of mass of points is on the sentinel parameters of outage of passenger of transport vehicles. *Technology audit and production reserves*. 2018. № 1/2(39). 69–76. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.123604>

Вдовиченко Володимир Олексійович, д.т.н., проф. каф. транспортних технологій, vval2301@gmail.com, тел. +38050-403-17-10, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2746-8175>,
Підлубний Сергій Юрійович, аспірант каф. транспортних технологій, pidlubnyi_s@ukr.net, тел. +38050-362-40-42, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4840-7363>,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Effect of the duration of vehicles' idleness at transfer hubs of urban passenger transport on the conditions of synchronization of passenger transfers

Abstract. Problem. The task of synchronizing the time of passengers' transfers between routes has been defined as one of the important directions for improving the operation of urban passenger transport in the transport and transfer hub. The simultaneous presence of route vehicles within the stops makes it

possible to transfer passengers without waiting. Due to the action of external factors, compliance with the terms of coordination of the vehicles' arrival at the transport hub is significantly complicated, which leads to a decrease in the efficiency of synchronization of passenger transfers and requires the implementation of additional management measures.

Goal. The purpose of the work is to determine the effect of the duration of idleness of route vehicles in a transport interchange on the parameters of synchronization of passenger transfers and conflicting traffic within the stops. **Methodology.** The methodological basis for establishing the effect of the duration of vehicles' idleness in a transport interchange on the efficiency of synchronization of passenger transfers is the developed structural model of the interaction of incoming route flows. Such a model describes the functional relationship between the traffic parameters of route vehicles, the distance between the initial stopping point of the route and the transfer point, the technical speed on network sections, the traffic intensity on routes, the idle time at intermediate stopping points, the average time of a passenger transfer and the number of conflict situations. **Results.** In the process of analyzing the object of the study, it was determined that it is possible to improve the conditions of synchronization of passenger transfers by increasing the duration of the stay of route vehicles at the stops. It was determined that the key role in synchronizing the transfer of passengers is played by the determination of the departure time of route vehicles from the initial stopping point, accounting for external impacts and laws of distribution of random values of the technical speed and the idle time at intermediate points. The developed circuit of functional communication allows to present the process of finding vehicles in a transport interchange as a complex system of synchronization of the route flows

interaction. **Originality.** It is proposed to use a rational time of route vehicles idleness at the stop points of the transport and transfer hub, which allows to partially compensate for the decrease in the effectiveness of the synchronization of passenger transfers. When determining the time of vehicles idleness, the frequency of traffic conflicts that occur with adjacent routes at stopping points is also taken into account. The obtained regularities are presented in the form of characteristic functions, which allow to evaluate the effect of the duration of route vehicles stay in the transport interchange hub on the parameters of the efficiency of route flows interaction. **Practical value.** According to the results of experimental studies, the dependences of changes in the average passenger transfer time and conflicting traffic of route vehicles were established for the transport and transfer hub "Odeska St." (Kharkiv). It was determined that in the conditions of synchronization of the traffic schedule, the idle time of route vehicles within 180 seconds is rational. This enables to reduce the time of inter-route transfer of passengers and ensure a low level of conflict of the route vehicles traffic.

Key words: city passenger transport, transport and transfer hub, transfer of passengers, stop point.

Volodymyr Vdovychenko, Doctor of technical sciences, Professor, Department of Transport Technology, vval2301@gmail.com, +38 050-403-17-10, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2746-8175>,
Serhii Pidlubnyi, Postgraduate Student, Department of Transport Technology, pidlubnyi_s@ukr.net, тел. +38050-362-40-42, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4840-7363>, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry str., Kharkiv, Ukraine, 61002.