

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.072

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.102.0.78

СТРУКТУРА ВАРІАТИВНОГО АНАЛІЗУ ДОЦІЛЬНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРІОРИТЕТНОГО РУХУ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Вдовиченко В. О.¹, Іванов І. Є.², Підлубний С. Ю.¹, Іванов Є. І.¹
¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет
²ПрАТ «Запоріжавтотранс»

Анотація. У статті запропоновано здійснити аналіз доцільності організації спеціальних смуг пріоритетного руху міського пасажирського транспорту на основі визначеного структурного контуру. Такий зв'язок відтворює вплив параметрів організації спеціальних смуг міського пасажирського транспорту на рівень ризику ускладнення руху транспортного потоку та експлуатаційні показники роботи рухомого складу на маршрутах мережі. Метою роботи є аналіз структури визначення раціонального варіанта організації пріоритетного руху міського пасажирського транспорту щодо можливості підвищення ефективності роботи маршруту та причин виникнення критичних ризиків функціонування елементів вулично-дорожньої мережі. Методичним джерелом оцінювання доцільності виділення спеціальних смуг міського пасажирського транспорту є запропонована нечітка продукційна модель. Вона структурно-логічно взаємодіє та демонструє вплив характеристичних умов реалізації операцій на визначення загального результату у вигляді ризиків ускладнення умов дорожнього руху та покращенням показників транспортного процесу.

Ключові слова: міський пасажирський транспорт, пріоритетний рух, спеціальна смуга.

Вступ

Вагомим джерелом підвищення ефективних міських пасажирських транспортних систем (МПТС) є розвиток швидкісного сполучення міського пасажирського транспорту (МПТ), що в практичній діяльності досягається через такі процеси:

- створення мереж більш надійних та швидких видів транспорту, зокрема наземного автобусного сполучення [1–2];
- впровадження експресних та комбінованих форм обслуговування маршрутів [3];
- вдосконалення систем управління дорожнім рухом та МПТ [4];
- створення спеціальних смуг руху для МПТ, таксі або велосипедистів [5].

Останній серед вищезазначених підходів реалізується на основі виділення спеціальних (пріоритетних) смуг для МПТ. Однак на етапі вибору такого рішення обов'язково необхідно комплексно оцінити очікувані позитивні результати та всі можливі ризики, зокрема ускладнення умов дорожнього руху загального потоку, яке можливе через скорочення кількості смуг, що використовуються для руху автомобілів.

Аналіз публікацій

Організація пріоритетного руху МПТ на основі виділення спеціальних смуг набула

поширення в багатьох країнах світу. Через популярність застосування такого способу швидкісного сполучення була розроблена низка науково-практичних рекомендацій та критеріїв виділення спеціальних смуг для МПТ. У більшості наукових робіт критерієм аналізу доцільності пріоритету МПТ є інтенсивність руху МПТ та величини пасажиропотоків на маршрутах.

У роботі [6] автори пропонують впровадження пріоритетного руху МПТ на крайній смузі в напрямку руху за інтенсивності маршрутного потоку від 30–40 од/год та значення пасажиропотоку від 1200–1600 пас./год. У разі, коли виділяється смуга пріоритетного руху МПТ вздовж розділювальної смуги, значення інтенсивності збільшується до 60–90 од/год, а значення пасажиропотоку до 2400–3600 пас./год. Водночас у цій методиці не враховуються умови руху транспортного потоку автомобілів.

У роботі [7] критерії організації спеціальної смуги руху МПТ розширені через збільшення загальної кількості смуг на вулично-дорожній мережі (ВДМ) та уточнення її розташування щодо маневрування транспортних засобів. Але це унеможливило визначення рівня результативності щодо всіх учасників руху.

В Україні під час аналізу впровадження спеціальних смуг МПТ застосовують критерії, що подані в роботах [8, 9]. За цими рекомендаціями впровадження спеціальних смуг МПТ є доцільним за умови дотримання одночасно трьох вимог: інтенсивність маршрутного потоку становить не менше ніж 40 од/год, інтенсивність руху транспортного потоку становить не менше ніж 400 авт/год на одну смугу, на ділянці мережі наявні не менше ніж 3 смуги руху.

Основним недоліком критеріїв, що запропоновані в розглянутих джерелах, є те, що вони як основний оціночний параметр використовують показники, що безпосередньо не відтворюють зміни результативності операцій транспортного процесу, а вплив на умови дорожнього руху оцінюється непрямим способом.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є аналіз структури визначення раціонального варіанта організації пріоритетного руху МПТ щодо можливості підвищення ефективності роботи маршруту та виникнення критичних ризиків функціонування елементів ВДМ.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

– проаналізувати сучасний науково-практичний досвід та перспективи застосування методів швидкісного сполучення МПТ;

– розробити структурну модель аналізу рішення щодо доцільності впровадження пріоритетного руху на ділянках ВДМ як базового методу підвищення швидкості сполучення на маршрутах МПТ;

– здійснити експериментальні дослідження зміни показників роботи транспорту та проаналізувати їх.

Виклад основного матеріалу

Процедура впровадження швидкісного сполучення МПТ потребує попереднього її комплексного обґрунтування щодо можливості отримання позитивного результату для зовнішнього середовища, аналізу витрат на реалізацію заходів та ризиків негативного впливу на мережу міста.

За визначеною шкалою аналізу результативності впровадження методів організації швидкісного сполучення МПТ можна здійснити їхній розподіл за категоріями впливу. У табл. 1 наведено рівень пристосованості методів швидкісного сполучення МПТ.

Таблиця 1 – Рівень пристосованості методів швидкісного сполучення МПТ

Напрями реалізації	Відсутність впливу на територію міста	Дотримання чіткого часу руху	Узгодження часових параметрів	Нейтральний вплив на рух автомобілів	Залучення коштів на реконструкцію
Створення ліній зі відокремленою штучною мережею (метрополітен, монорельс)	ПРВ	ПРВ	ПРВ	ПРВ	ПРВ
Створення магістральних мереж швидкісного автобусного сполучення (BRT-лінії)	ВРВ	ВРВ	ПРВ	ВРВ	ВРВ
Виділення окремих смуг руху наземного МПТ на ділянках ВДМ	ЧРВ	ВРВ	ВРВ	ВВ	ДРВ
Організація швидкісних режимів руху (експресний, комбінований)	НРВ	ДРВ	ВВ	ПРВ	ВВ

Для визначення ступеня відповідності використано такі позначки: ПРВ – повний рівень відповідності, ВРВ – високий рівень відповідності; ЧРВ – частковий рівень відповідності; ДРВ – дуже низький рівень відповідності; ВВ – відповідність зовсім відсутня. Визначені в табл. 1 форми загального аналізу пристосованості базових методів організації швидкісного сполучення МПТ дозволяють

обґрунтувати можливість їх застосування щодо визначених умов функціонування елементів транспортної системи та ресурсних можливостей міст. Однак в такому виді цей аналіз не може бути використано як методологія оцінювання рішень, а потребує структуризації функціональних зв'язків у межах моделі управління. Така модель має бути послідовністю логічних зв'язків та їхньою

формалізацію в аналітичні закономірності та обґрунтовані висновки. Для побудови такої моделі необхідно дотриматися умови щодо зручності та наочності її використання. Це досягається через використання методів трансформації простих переходів у межах

складових елементів підсистем досліджуваної моделі управління.

На рис. 1 наведена загальна структурна схема контуру функціональних зв'язків, що дозволяє здійснити варіативний аналіз різних методів організації швидкісного пасажирського сполучення в містах.



Рис. 1. Контур функціональних зв'язків моделі варіативного аналізу методів організації швидкісного пасажирського сполучення

Наступним етапом розроблення моделі управління є вербальний аналіз типу здійснення процесів у межах зв'язків досліджуваного об'єкта. Вибір варіанта реалізації швидкісного сполучення потребує аналізу результатів на основі визначення характеристичного зв'язку $G_t \rightarrow (A_r, S_p, K_t)$. Керівним впливом є вибір методу реалізації швидкісного сполучення (G_t). Одним з основних чинників вибору на пряму реалізації швидкісного сполучення є ресурсні обмеження. Створення нових ліній міського пасажирського транспорту (мереж BRT, метрополітену, монорельсу), окрім значних капіталовкладень, потребує вільних міських територій. Додаткові площі також потрібні і для розширення вже наявної мережі міст. За відсутності достатнього обсягу ресурсів або в разі наявності територіальних обмежень на етапі аналізу варіантів можна розглядати лише ті, що є реалістичними. До них належать методи організації за спеціальними режимами руху (швидкісний або експресний) та організація пріоритету МПТ на окремих смугах ВДМ.

Аналіз передумов реалізації варіанта управління та аналіз можливих змін швидкісного режиму роботи МПТ дозволяє визначити тип їх впливу на мобільність населення (P_s) та зміну показників функціонування елементів транспортної інфраструктури (M_t). Потреба в мобільності населення (V_p) та з параметри інфраструктури (Q_t) визначають вплив на вимоги населення до їх переміщення (Q_p) та можливість перерозподілу пропускну здатності ВДМ (M_u) між такими видами сполучення, як індивідуальний транспорт і МПТ. Необхідна кількість рухомого складу МПТ у місті (T_e) та їх розподіл за маршрутами (R_t) залежать від попиту населення на пересування. У разі впровадження швидкісного сполучення на маршрутах МПТ (R_b) відбувається збільшення швидкості руху транспортних засобів (D_v) та скорочення часу рейсу (t_p), що призводить до підвищення продуктивно-

сті їхньої роботи (B_t) та до можливості скорочення кількості одиниць на маршруті (A_r). Підвищення швидкісного режиму руху на маршрутах (D_v) та реалізація узгодження часової міжмаршрутної взаємодії (U_p) є складовою частиною скорочення загального часу пересування пасажирів (S_p). У разі реалізації заходів можлива поява негативного впливу на параметри транспортного потоку вздовж ВДМ міста (K_t) через заборону руху автомобілів спеціальними смугами МПТ. Для визначення рівня такого негативного впливу необхідно оцінити інтенсивність руху транспортного потоку (M_u) вздовж ділянок мережі, де може бути застосований пріоритетний рух МПТ. Після визначення кількості смуг, що використовуються для руху автомобілів, потрібно розрахувати рівень завантаження ВДМ (M_r), який є базою для аналізу ускладнення руху K_t .

Позитивне рішення приймається тоді, коли будуть дотримані такі локальні критерії: $\Delta A_r \rightarrow \max$, $\Delta S_p \rightarrow \max$ за умови $K_t \leq K_t^l$. Параметр ΔA_r визначає скорочення потрібної кількості рухомого складу МПТ, ΔS_p – скорочення часу здійснення пересування пасажирів, а K_t^l – допустимий рівень ускладнення умов дорожнього руху. Контур функціональних зв'язків об'єкта дослідження є можливістю для визначення моделі аналізу ризиків впровадження пріоритетного руху МПТ спеціальними смугами.

На основі аналізу системності та взаємозв'язку визначення управлінських рішень можна вибрати раціональний варіант організації пріоритетного руху МПТ як ризик-систему. Центральною частиною вибору раціонального рішення з варіантів впровадження пріоритетного руху є визначення допустимого ризику P_t , тобто такого рівня організації МПТ, за яким для пасажирів та учасників руху забезпечується гарантія отримання допустимого результату від транспортної системи міста. Цей показник можна визначити так: P_t – це такий стан організації МПТ, який досягається впровадженням заходів управління G_i , за якого буде забезпечено скорочення потреби рухомого складу

на ΔA_r , скорочення витрат часу пасажирів на пересування ΔS_p та водночас ускладнення руху K_t не буде більше за критичний рівень, що визначений вимогами до рівня обслуговування руху на ВДМ міста. Формальне визначення ризику реалізовано через поєднання аналізу виникнення подій ΔA_r , ΔS_p та можливих негативних наслідків (НН) K_t :

$$P_t = Y(\Delta A_r, \Delta S_p) \otimes K_t, \quad (1)$$

де $Y(\Delta A_r, \Delta S_p)$ – аналіз подій, що призводять до зміни ΔA_r , ΔS_p ; K_t – наслідки, що мають негативний вплив на дорожній рух у межах ВДМ; \otimes – визначена композиція взаємозв'язку між параметрами, що визначають вплив на МПТ, та показники дорожнього руху.

Поняття ризик та його визначення можна записати так [10]:

$$\text{для } \forall K_t \exists ! Y : Y'(K_t) = Y. \quad (2)$$

Запишемо залежність отримання негативних наслідків від організації пріоритетного руху МПТ:

$$Y' = Y'(\bar{K}_t), \quad (3)$$

де $Y'(\bar{K}_t)$ – монотонна функція зменшення, яка визначає достатній рівень імовірності появи НН та призводить до погіршення умов руху автомобілів: $\bar{K}_t = K_t' / K_t^l$, $K_t' \in [K_t^b, K_t^l]$; K_t^b , K_t^l – базовий та максимальний рівень ускладнення руху на ВДМ.

Згідно з вищезазначеним допустимий ризик можна записати як залежність імовірності виникнення НН з величини \bar{K}_t :

$$Y' = a \cdot \exp(-b(K_t' - K_t^l)), \quad (4)$$

де a – константа, яка відповідає рівню імовірності за допустимого ускладнення дорожнього руху; b – константа, яка відтворює

темп зниження ймовірності появи НН у разі збільшення значення різниці $(K'_t - K_t^l)$.

Практична адаптація підходів теорії ризиків у межах науково-практичного завдання вибору раціонального варіанта швидкісного сполучення МПТ передбачає використання нечіткої продукційної мережі. Її основою є структурно-логічний зв'язок, що відтворює ступінь впливу $G_t \rightarrow P_t$. Побудова нечіткої продукційної мережі передбачає визначення множини n_o чинників виникнення ризиків на n_s рівнях їхнього аналізу, тобто $G_t = \{g_{ij}\}, i = \overline{1, n_s}, j = \overline{1, n_o}$, та множини n_b показників ризиків: $P_t = \{p_i\}, i = \overline{1, n_b}$.

Для якісного аналізу параметрів запропонованої ризик-системи можуть бути використані лінгвістичні форми. Такий аналіз передбачає використання терм-множин для кожного якісного рівня впливу на ризик. Чинниками ризику є три види терм-множин: низький (Н), частковий (Ч) та повний рівень відповідності (П). Для розподілу за множинами використовується аналіз впливу щодо граничних значень ризиків. Для визначення зв'язків моделі використано принцип MISO-структури (велика кількість входів – один вихід). Така модель є багаторівневим поєднанням нечітких продукційних правил, що відтворюють вплив вхідних чинників на показник ризику.

Розроблення нечіткої продукції насамперед передбачає аналіз її компонентів. До них належать передумови (g_{ij}) та висновки (p_i). Їхня комбінація визначає нечітку продукцію. Вхідними компонентами є групи параметрів маршруту (g_{1-3}) та вулично-дорожньої мережі (g_{4-6}). У визначенні параметрів (g_{ij})

індекс j відтворює приналежність до відповідного рівня. Під час здійснення розрахунків продукції можна визначити один з дев'яти значень функції $Y'(\bar{K}_t) = \{s_i, p_i\}$, що є якісною оцінкою можливості покращення параметрів транспортного процесу s_i та ризику ускладнення руху p_i . Таку матрицю ризиків можна записати як сукупність термів (табл. 2).

Таблиця 2 – Аналіз ризиків

Вид впливу		K_t		
		П	Ч	Н
$\Delta A_r,$ ΔS_p	Н	$s_1 p_1$	$s_1 p_2$	$s_1 p_3$
	Ч	$s_2 p_1$	$s_2 p_2$	$s_2 p_3$
	П	$s_3 p_1$	$s_3 p_2$	$s_3 p_3$

Найкращим станом є ситуація $s_3 p_3$ – повна відповідність покращенню якості та невідповідність ускладнення руху, найгіршим – ситуація $s_1 p_1$ – невідповідність покращенню якості та повна відповідність ризику ускладнення руху.

Апробація методики визначення доцільності впровадження пріоритетного руху здійснена на прикладі тролейбусного маршруту № 24 «602 мкр. – ст. м. Ак. Барабашова» м. Харкова. Схема маршруту наведена на рис. 2. Основним методом швидкісного сполучення є організація пріоритетного руху МПТ на ділянках ВДМ завдяки вилученню 1 смуги. Вибір цього маршруту обумовлений тим, що він забезпечує подальшу пересадку пасажирів на лінію метрополітену та всі пасажирі здійснюють пересування до кінцевого пункту.

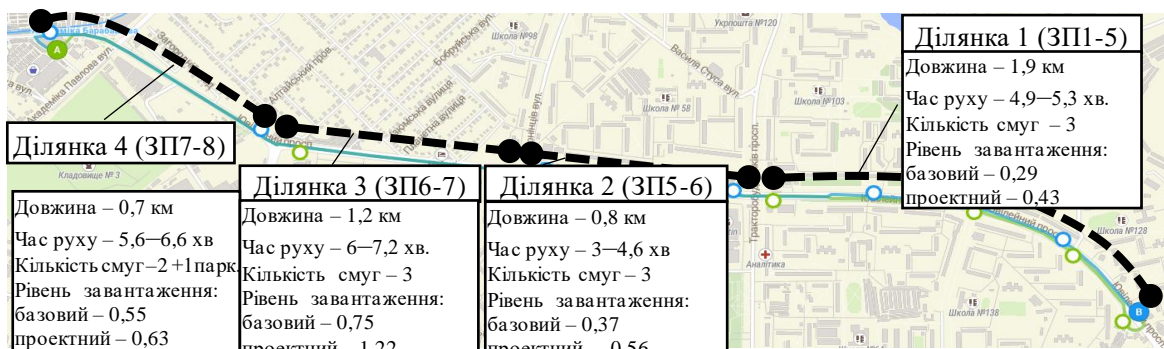


Рис. 2. Схема маршруту № 24 «602 мкр. – ст. м. Ак. Барабашова»

Альтернативи пріоритетного руху МПТ подані 4 варіантами (табл. 3).

Таблиця 3 – Варіанти організації пріоритетного руху

Варіант	1	2	3	4
Ділянка	4	3, 4	2–4	1–4
Базовий час руху, хв	5,6–6,6	11,6–13,8	16,6–21	19,5–24,7
Проектний час рейсу, хв	19,5–21,6	18,2–20,2	17	17
Рівень завантаження рухом ВДМ після заходів	0,63	0,63–0,97	0,56–1,05	0,43–1,22

Вихідною інформацією для моделювання є дані про фактичний час руху вздовж ділянок, що була отримана в процесі спостережень для періоду з 7-30 до 9-00. На рис. 3 подано типові графіки руху для цього періоду часу.

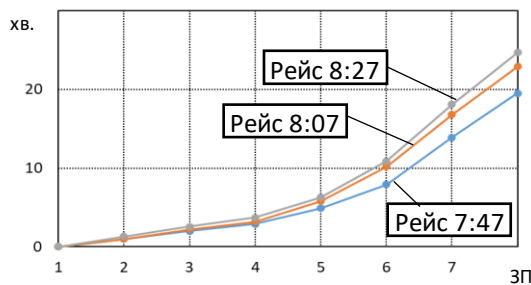


Рис. 3. Графік руху на маршруті

Під час аналізу було визначено, що в період після 8:00 спостерігається зниження швидкості сполучення на маршруті, зокрема на ділянках ЗП6–ЗП8, це підтверджується значним збільшенням лінії витрат часу на графіках руху. Відповідно до аналізу цієї

інформації можна визначити, що швидкість руху значною мірою уповільнюється на ділянках 3 та 4, що обумовлено високою щільністю руху автомобілів. Виокремлення пріоритетної смуги руху для МПТ дає можливість скоротити час рейсу на маршруті. У разі впровадження пріоритетного руху вздовж всієї довжини маршруту час рейсу буде стабільним та становитиме 17 хв. Однак це призведе до підвищення рівня завантаження рухом ВДМ через зменшення кількості смуг, водночас на ділянці 3 це може призвести до ризику виникнення критичних станів s_1P_3 (час пересування маршрутом скоротився, але рух автомобілів став неможливим).

Для аналізу впровадження пріоритетного руху на основі вищезазначених аналітичних моделей ризику із застосуванням математичного апарату визначення параметрів руху на маршрутах та елементах ВДМ [11] в середовищі MS Excel були здійснені розрахунки показників руху для базового та 4 можливих варіантів пріоритету МПТ (табл. 4).

Аналізуючи дані, наведені в табл. 4, можна дійти висновків щодо доцільності впровадження запропонованих заходів з організації пріоритетного руху МПТ. У разі впровадження пріоритетного руху вздовж всієї довжини маршруту (варіант 4 – всі ділянки 1–4) можна отримати скорочення середнього часу рейсу до 17 хв, а продуктивність роботи одиниці рухомого складу збільшиться на 59 %, тобто до 176 пас/год, що дозволить скоротити кількість рухомого складу до 5 од. Забезпечення умов вільного руху за всією довжиною маршруту дозволить реалізувати чітке дотримання розкладу руху та можливість повного узгодження руху на цьому напрямку сполучення МПТ.

Таблиця 4 – Результати експериментальних розрахунків

Показник	Базовий	Варіант			
		1	2	3	4
Перелік ділянок з пріоритетом МПТ	-	4	3, 4	2–4	1–4
Середній час рейсу, хв	27	21	19	17	17
Продуктивність рухомого складу, пас/год	111	143	158	176	176
Кількість рухомого складу на маршруті, од	8	6	5	5	5
Рівень узгодження розкладу руху	відсутній	частковий		повний	
Рівень завантаження рухом ВДМ на максимально напруженій ділянці маршруту	0,75	0,63	0,97	1,05	1,22
Середня швидкість потоку на ділянках, км/год	20	29	25	23	20
Відповідність фактичного часу розрахунковому (з огляду на попит та питому вагу швидкісних ділянок на маршруті)	0,63	0,81	0,89	1	1
Рівень ускладнення руху на ділянках ВДМ	0,75	0,91	1	1	1

Варіант 2 (пріоритетний рух на ділянках 2–4) за своїми показниками є ідентичним варіанту 1. Це пояснюється тим, що погіршення швидкісного режиму не спостерігаються на ділянці 1 та в разі, якщо її не буде вміщено до пріоритетного руху, не відбудеться впливу на параметри маршруту. Варіант 3 (пріоритет на ділянках 3–4) дозволяє забезпечити скорочення середнього часу рейсу до 19 хв, продуктивність роботи одиниці рухомого складу збільшиться на 42 %, тобто до 158 пас/год, що дозволить скоротити кількість рухомого складу до 5 од. Варіант 4 (пріоритет лише на ділянці 4) дозволяє забезпечити скорочення середнього часу рейсу до 21 хв, продуктивність роботи одиниці рухомого складу збільшиться до 29 %, тобто до 143 пас/год, що дозволить скоротити кількість рухомого складу до 6 од.

Крім покращення часу пересування, важливим елементом під час аналізу є визначення зміни стану організації дорожнього руху. Якщо запровадити пріоритетний рух вздовж всіх ділянок, то відбудеться вилучення 1 смуги, що призведе до підвищення рівня завантаження. Під час аналізу цього показника враховується найбільш напружена ділянка ВДМ, яка є стримувальним елементом для транспортного потоку. Визначено, що для варіанта 1 рівень завантаження рухом ВДМ на максимально напруженій ділянці буде становити 1,22, що на 63 % вище, ніж за умови використання базового варіанта, для варіанта 2 – 1,05 (на 40 %), для 3 – 0,95 (на 29 %), для 4 – 0,63 (на 16 %).

Для аналізу отриманих показників щодо результативності (s_1 – скорочення часу рейсу, s_2 – зменшення кількості рухомого складу) та ризику (p_1 – рівень завантаження рухом) використані перетворення в лінгвістичні змінні (табл. 5).

Таблиця 5 – Приналежність показників до лінгвістичних змінних аналізу впровадження швидкісного сполучення

Показник	Лінгвістична змінна		
	Низька відповідність	Часткова відповідність	Повна відповідність
s_1	до $0,2t_p$	$(0,21 - 0,4)t_p$	більше ніж $0,4t_p$
s_2	до $0,1A_r$	$(0,11 - 0,2)A_r$	більше ніж $0,2A_r$
p_1	до 0,8	0,81–0,9	більше ніж 0,95

Аналізуючи ризики відповідності вимогам споживачів s_i та ускладнення руху p_i , можна дійти висновку, що кращими щодо пасажиропотоку є варіанти 3 та 4, однак вони призведуть до ситуації, коли p_1 вийде за межі допустимого значення. Тому можливим є впровадження пріоритетного руху на маршруті № 24 «602 мкр. – ст. м. Ак. Барабашова» лише на ділянці 4 (варіант 1). Це обумовлено тим, що на цій ділянці ВДМ буде забезпечено достатній рівень зручності руху автомобілів, а скорочення часу рейсу дозволить зменшити потребу в рухомому складі на маршруті до 6 од.

Висновки

Серед першочергових завдань розвитку транспортної інфраструктури міст найактуальнішими є підходи щодо впровадження більш надійних та доступних форм транспортного обслуговування населення на базі швидкісного МПТ. Практична реалізація цих підходів у більшості випадків здійснюється способом впровадження нових технологій швидкісного обслуговування, що ґрунтуються на раціональному використанні наявних ресурсів ВДМ та ефективному використанні наявного парку рухомого складу МПТ.

Методичною основою для вибору раціонального варіанта організації пріоритетного руху МПТ спеціальними смугами є розроблена структура нечіткої продукційної мережі аналізу результативності управлінських дій. Вона ґрунтується на структурно-логічному зв'язку, що відтворює вплив умов здійснення рейсових рухових операцій на маршрутах на показники загального результату функціонування міської транспортної системи, який запропоновано оцінювати ризиками ускладнення умов дорожнього руху та зміни параметрів роботи МПТ, зокрема через часові показники якості транспортного обслуговування пасажирів.

За результатами розрахунків на маршруті № 24 «602 мкр. – ст. м. Ак. Барабашова» м. Харкова визначено, що можливе впровадження швидкісного сполучення на маршруті лише на ділянці від вул. Л. Ландау до вул. Ак. Павлова. Це обумовлено тим, що на цій ділянці ВДМ буде забезпечено достатній рівень зручності руху автомобілів, а досягнуте скорочення часу рейсу дозволить зменшити потребу в рухомому складі на маршруті до 6 од.

Література

1. 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>.
2. Hoonsiri C., Chiarakorn S., Kiattikomol V. Using combined bus rapid transit and buses in a dedicated bus lane to enhance urban transportation sustainability. *Sustainability*. 2021. №13 (6). P. 3052. <https://doi.org/10.3390/su13063052>.
3. Таран І. О., Літвін В. В. Методика розрахунку та оцінка ефективності комбінованого режиму руху на міському автобусному маршруті. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2019. № 85. С. 93–106. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.93>.
4. Estimating the average speed of public transport vehicles based on traffic control system data / Oskarbski J., Birr K., Miszewski M., Żarski K. *In 2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. 2015. P. 287–293. <https://doi.org/10.1109/MTITS.2015.7223269>.
5. Development and evaluation of bus lanes with intermittent and dynamic priority in connected vehicle environment / Wu W., Head L., Yan S., Ma W. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2018. № 22(4). P. 301–310. <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1313704>.
6. PIARC: priority for public transport and other high occupancy vehicles (HOV) on urban roads. Reference: 10.07. B Routes. *Roads special issue II-199*. 1995. 51 P.
7. Seo Y. U., Jang H., Park J. H. A Study on Setting-Up a Methodology and Criterion of Exclusive Bus Lane in Urban Area. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2005. № 5. P. 339–341.
8. Кашканов А. А., Кужель В. П. Організація дорожнього руху: навчальний посібник. *Вінниця: ВНТУ*, 2017. 125 С.
9. Вікович І. А., Зубачик Р. М., Беспалов Д. О. Визначення ефективності методу «спеціальна смуга в зоні перехрестя» з позиції забезпечення пріоритету в часі. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2014. № 5/1(19). С. 40–45. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.28095>.
10. Aven T. The science of risk analysis: foundation and practice. *Routledge*. 2019. 317 p.
11. Вдовиченко В. О. Сервісно-ресурсна модель функціонування міського громадського пасажирського транспорту. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2017. №2(103). С. 82–90.

References

1. 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>.
2. Hoonsiri C., Chiarakorn S., Kiattikomol V. Using combined bus rapid transit and buses in a dedicated bus lane to enhance urban transportation sustainability. *Sustainability*. 2021. №13 (6). P. 3052. <https://doi.org/10.3390/su13063052>.
3. Taran, I. O., & Litvin, V. V. (2019) Metodyka rozrakhunku ta otsinka efektyvnosti kombinovanoho rezhymu rukhu na miskomu avtobusnomu marshruti. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*. № 85. P. 93–106. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.93> [in Ukrainian].
4. Estimating the average speed of public transport vehicles based on traffic control system data / Oskarbski J., Birr K., Miszewski M., Żarski K. *In 2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. 2015. P. 287–293. <https://doi.org/10.1109/MTITS.2015.7223269>.
5. Development and evaluation of bus lanes with intermittent and dynamic priority in connected vehicle environment / Wu W., Head L., Yan S., Ma W. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2018. № 22(4). P. 301–310. <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1313704>.
6. PIARC: priority for public transport and other high occupancy vehicles (HOV) on urban roads. Reference: 10.07. B Routes. *Roads special issue II-199*. 1995. 51 P.
7. Seo Y. U., Jang H., Park J. H. A Study on Setting-Up a Methodology and Criterion of Exclusive Bus Lane in Urban Area. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2005. № 5. P. 339–341.
8. Kashkanov, A. A., & Kuzhel, V. P. (2017) Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu: navchalnyi posibnyk. *Vinnitsia: VNTU*, 125 [in Ukrainian].
9. Vikovych, I. A., Zubachyk, R. M., & Bepalov, D. O. (2014). Vyznachennia efektyvnosti metodu «spetsialna smuha u zoni perekhrestia» z pozytsii zabezpechennia priorytetu u chasi. *Tekhnolohichniy audyt ta rezervy vyrobnytstva: naukovyi zhurnal*. № 5/1(19). P. 40–45. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.28095> [in Ukrainian].
10. Aven T. The science of risk analysis: foundation and practice. *Routledge*. 2019. 317 p.
11. Vdovychenko, V. O. (2017). Serviso-resursna model funktsionuvannia miskoho hromadskoho pasazhyrskoho transportu. *Visnyk KrNU imeni My-khaila Ostrohradskoho*. 2(103). P. 82–90 [in Ukrainian].

Вдовиченко Володимир Олексійович¹, д.т.н., проф. каф. транспортних технологій, vval2301@gmail.com, тел. +38050-403-17-10, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2746-8175>

Іванов Ігор Євгенович², к.т.н., голова наглядової ради, +38061-764-65-35, zpavtotrance@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0336-6513>

Підлубний Сергій Юрійович¹, аспірант каф. транспортних технологій, pidlubnyi_s@ukr.net, тел. +38050-362-40-42, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4840-7363>

Іванов Євген Ігорович¹, аспірант каф. транспортних технологій, ivanov.zoda@gmail.com, тел. +38050-846-87-83, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6344-8296>

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,

²ПРАТ «Запоріжжавтотранс», вул. Покровська, 30, 69063, м. Запоріжжя, Україна.

The structure of variable assessment of the feasibility of organizing urban passenger transport priority traffic

Abstract. Problem. An important source of increasing the efficiency of urban transport systems is the development of high-speed connections, which in practice can be achieved by allocating special traffic lanes for urban passenger transport. However, at the stage of justifying such a decision, it is necessary to comprehensively assess the expected positive results and all possible risks, including the complication of traffic conditions. **Goal.** The purpose of the work is to establish a procedure for determining a rational variant of organizing priority movement of urban passenger transport from the standpoint of evaluating the improvement of the route efficiency and the emergence of critical risks of functioning of the street and road network elements. **Methodology.** As a basis for establishing the principles of evaluating the options for organization of high-speed urban passenger transport, an analysis of their impact on improving the quality of public transport services, capital costs for the implementation of such measures and possible negative consequences for the street and road network was used. **Results.** The central part of evaluating the variant of organizing the priority traffic of urban passenger transport is determination of the value of the permissible risk. As a risk, an assessment of the degree of organization of high-speed connections was used, which from the point of view of consumers provides the possibility of obtaining a positive result in relation to travel time, reducing the number of rolling stock on the route and ensuring a suitable level of capacity of the street-road network. **Qualitative assessment of the parameters of the risk**

system is carried out using linguistic variables that can be represented in the form of basic term-sets. For risk factors, such assessments are presented in three variants: low, partial and full compliance with the requirements of the organization of high-speed communication. **Originality.** The analysis of the systematicity, completeness and interconnectedness of the conditions for the formation of management decisions in the field of choosing an option for the organization of priority urban passenger transport made it possible to form the principles of using a risk system, whose unity is ensured by taking into account the interrelationships of the time parameters of traffic on the route and the conditions of traffic complications on the network. The formation of a fuzzy product includes the description of its components, that is, the prerequisites and the conclusion, whose combination determines the fuzzy product. Input components of products are divided into two groups: route parameters and road network parameters. **Practical value.** According to the results of experimental calculations for route No. 24 "District 602 – Akademika Barabashova metro station" (Kharkiv) established that the implementation of special traffic lanes for urban passenger transport is appropriate only on a separate section of the route. This is due to the fact that on this section of the road network, a pleasant level of risk of traffic complications will be ensured, and a 37 % reduction in journey time will lessen the need for rolling stock on the route to 6 units.

Key words: urban passenger transport, priority traffic, special lane.

Volodymyr Vdovychenko¹, 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>

Igor Ivanov², PhD, Associate Professor, +38061-764-65-35, zpavtotrance@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0336-6513>

Serhii Pidlubnyi¹, Postgraduate Student, Department of Transport Technology, pidlubnyi_s@ukr.net, тел. +38050-362-40-42, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4840-7363>

Yevhen Ivanov¹, Postgraduate Student, Department of Transport Technology, ivanov.zoda@gmail.com, тел. +38050-846-87-83, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6344-8296>

¹Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry str., Kharkiv, Ukraine, 61002

²Private enterprise "Zaporizhzhavtotrans", 30, Pokrovska str., Zaporizhzhia, Ukraine, 69063.