

DOI: 10.32347/2076-815x.2025.90.200-209

УДК 711.7:656.025.4:004.

к.т.н., доцент **Васильєва Г.Ю.**,

anvas677@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0557-6925,

Зварич І.А.,

zvarich.dp@gmail.com, ORCID: 0009-0008-2063-5608,

Чередніченко О.П.,

orcherednichenko@gmail.com, ORCID 0000-0003-0445-2816,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЛІНІЙ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ РУХУ

Представлено результати наукового дослідження, спрямованого на вдосконалення методів визначення пропускної здатності ліній міського пасажирського транспорту в умовах високої щільності транспортних потоків. Обґрунтовано необхідність переходу від класичних статичних розрахунків до комплексного підходу, який поєднує інженерно-транспортні моделі та сучасні цифрові технології моніторингу й аналізу. Пропускна здатність трактується як динамічна характеристика, що залежить від інтенсивності руху, нерівномірності пасажиропотоків, режимів регулювання та впливу випадкових подій. Запропоновано системний опис міської транспортної мережі на основі топологічної та часово-просторової структури, що розглядає взаємозв'язок між окремими лініями, вузлами та пересадковими коридорами. Такий підхід дозволяє моделювати не лише конфігурацію мережі, а й часову змінність її параметрів, прогнозувати утворення заторів, оцінювати надійність пересадок і виявляти «вузькі місця». Використання стохастичних процесів, теорії масового обслуговування, дискретно-подієвого та агентного моделювання забезпечує точніше відтворення реальної динаміки руху та поведінки пасажирів.

Особливу увагу приділено міжнародним стандартам і керівництвам, що задають рамки сучасних методик: американським Highway Capacity Manual і Transit Capacity and Quality of Service Manual, рекомендаціям UITP та європейським нормам CEN. Порівняльний аналіз цих документів виявив спільну тенденцію до багатомодального розгляду мережі та орієнтації на фактичні умови руху, підкреслив важливість урахування зупинкової ємності й інтервалів руху. Результати дослідження мають практичну цінність для проектування та модернізації міських транспортних систем. Запропоновані алгоритми та програмні рішення дають змогу підвищити надійність перевезень,

оптимізувати графіки руху, зменшити затримки й екологічні втрати, а також формувати адаптивну, стійку до перевантажень інфраструктуру громадського транспорту великих міст.

Ключові слова: пропускна здатність; міський пасажирський транспорт; транспортна мережа; часово-просторовий аналіз; топологія мережі; щільні транспортні потоки; дискретно-подієве моделювання; агентне моделювання; цифрові сенсорні мережі; міжнародні стандарти HCM; Transit Capacity and Quality of Service Manual; UTP.

Постановка проблеми. Сучасні концепції оцінки пропускної здатності транспортних ліній ґрунтуються на поєднанні класичних інженерно-транспортних підходів і новітніх цифрових технологій моделювання. Пропускна здатність розглядається не лише як максимально можливий обсяг перевезень за одиницю часу, а як комплексна характеристика, що відображає взаємодію транспортних засобів, інфраструктури, пасажиропотоків та зовнішніх умов. У центрі уваги перебуває не статична величина, а динамічна система, здатна змінюватися під впливом щільності руху, нерівномірності пасажиропотоків, режимів регулювання та випадкових подій.

Ключовим напрямом є використання теорії масового обслуговування та стохастичних процесів, які дозволяють описувати випадкові коливання інтенсивності руху, появу пікових навантажень і часові затримки, що доповнюється дискретно-подієвим і агентним моделюванням, що дає змогу відтворювати поведінку окремих транспортних одиниць і пасажирів, прогнозувати утворення заторів та визначати критичні параметри лінії. Концепція «рівня обслуговування», запроваджена американським посібником HCM, набуває ширшого трактування: оцінюється не лише швидкість руху чи час очікування, а й комфортність перевезення, екологічні ефекти, надійність дотримання графіка.

Важливим компонентом стає інтеграція великих даних і цифрових сенсорних мереж. Сучасні системи збору інформації – GPS-трекінг, камери, датчики індукційних петель, мобільні додатки пасажирів – створюють безперервний потік даних про швидкість, інтервали руху, завантаженість вагонів чи автобусів. Ці дані в реальному часі підключаються до аналітичних платформ, що застосовують машинне навчання для виявлення закономірностей і миттєвого прогнозування пропускної спроможності. Такий підхід дозволяє оперативно коригувати графіки, змінювати пріоритети світлофорного регулювання, запобігати перевантаженням.

Окремий пласт сучасних концепцій пов'язаний із системним баченням міської транспортної мережі. Пропускна здатність конкретної лінії

розглядається у взаємозв'язку з іншими маршрутами, пересадковими вузлами та вулично-дорожньою інфраструктурою. Мережевий аналіз дозволяє оцінити, як зміни на одному сегменті впливають на загальну продуктивність системи, і пропонує багаторівневі рішення – від локальної оптимізації окремих світлофорних циклів до стратегічного планування нових транспортних коридорів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Міжнародні підходи до розрахунку пропускної здатності базуються на різних «сім'ях» документів, і кожна з них акцентує власний рівень системи: HCM/TRB [1] — операції вулично-дорожньої мережі та взаємодію з громадським транспортом; TCQSM [2] (під егідою TRB) — безпосередньо ємність і якість обслуговування пасажирського транспорту; UITP [3] — управлінські та операційні настанови для підвищення фактичної спроможності; європейські норми — стандарти якості послуг і національні мануали з методиками розрахунку. Важливо розуміти ці «зони відповідальності», бо коректний розрахунок майже завжди комбінує кілька джерел.

Провідними науковцями, що заклали основу сучасних методик оцінювання пропускної здатності міських транспортних ліній, вважають фахівців кількох дослідницьких шкіл. Американський напрям представлений групою авторів, які працювали над усіма редакціями Highway Capacity Manual. Серед них вирізняються Річард А. Каредж, Річард Доулінг, Девід Гейл і Кетрін Тернбулл, котрі сформуvalи концепцію рівня обслуговування та багатомодального аналізу. Значну роль відіграла команда під керівництвом Вейна Кіттелсона, що запропонувала новаторські підходи до моделювання затримок на перехрестях і оцінки насичення смуг. До покоління попередників належать Вільям Гантер і Ліленд Венс, які ще в 1980–1990-х роках розробили стохастичні схеми опису транспортних потоків і методи багатосмугового аналізу.

Окрему гілку становлять автори Transit Capacity and Quality of Service Manual [2]. Герберт Левінсон [5] відомий як один із головних розробників принципу «вузького місця», що враховує час стоянки, конфлікти підходів і вплив зупинок на провізну спроможність. Лінда Черрінгтон і Рональд Кірбі забезпечили подальший розвиток методики, увівши стандарти оцінки якості сервісу, регулярності руху та інтервалів випуску транспорту.

Європейська школа формувалася навколо Міжнародної асоціації громадського транспорту та національних стандартів CEN [4]. Жан-Марк Жанаяк і Ален Флоуш координували розробку світових рекомендацій UITP [6], де поєднано управлінські практики з інженерними розрахунками. Британський дослідник Пітер Вайт [7] створив фундамент економічних моделей

громадського транспорту, що стали орієнтиром для багатьох європейських міст. У Німеччині вагомий внесок зробили Дітріх Фюрст і фахівці об'єднання VDV [8], які розробили національні керівництва з багаторівневої оцінки ємності та сервісної якості.

Спільна праця цих науковців забезпечила інтеграцію математичних моделей руху, операційних стандартів і практичних управлінських підходів. Саме їхні ідеї лягли в основу сучасних міжнародних документів, що сьогодні визначають підхід до вимірювання та підвищення пропускної здатності міських транспортних мереж у різних країнах світу.

Мета статті полягає у науково обґрунтованому визначенні та вдосконаленні підходів до оцінювання пропускної здатності ліній міського пасажирського транспорту в умовах щільних транспортних потоків. Автор прагне створити комплексну методику, яка поєднує класичні інженерно-транспортні моделі з сучасними цифровими технологіями збору й аналізу даних, враховує часово-просторову динаміку мережі, вплив нерівномірності пасажиропотоків і режимів регулювання руху. Така мета спрямована на підвищення точності прогнозування, оптимізацію графіків і формування адаптивної, стійкої до перевантажень системи міського транспорту, що забезпечує комфорт, надійність і ефективність перевезень у великих містах

Виклад основного матеріалу. Системний підхід розглядає міську транспортну мережу як цілісну соціотехнічну систему з ієрархією рівнів «вулиця/зупинка → лінія/маршрут → вузол/хаб → мережа», з чітко окресленими межами, потоками та зворотними зв'язками. У такій постановці мережа описується не набором ізольованих ділянок, а як взаємопов'язана структура, де локальні зміни (затримка на світлофорі, перезавантаження пересадкового вузла) породжують каскадні ефекти в часі та просторі.

Топологічно мережу зручно подати орієнтованим зваженим графом $G=(V,E)$ Вершини V — це зупинки, перегони, світлофорні перехрестя, депо й пересадкові вузли; ребра E — поїзні відрізки (рух транспортного засобу), пішохідні зв'язки (перехід між платформами), а також «логічні» зв'язки (пересадка між маршрутами). Вага ребер відображає узагальнену «вартість» проходження: час руху, імовірність затримки, місткість, комфорт, небезпеку конфліктів із перетинами. Для мультикомпонентного міста топологія є багат шаровою: кожен вид транспорту формує власний шар (автобус, тролейбус, трамвай, метро, міська електричка), а міжшарові «ребра-куплери» моделюють пересадки і конкурс за простір на смугах загального користування. У топологічній оцінці важливі як локальні, так і глобальні характеристики. Локально аналізують міру вузла (ступінь), пропускні обмеження платформи та довжину перегона, що визначають потенційні «вузькі місця». Глобально

досліджують центральність за посередництвом (вияв критично навантажених вузлів і ребер), кластеризацію (модулі районних підмереж), діаметр і середню довжину шляхів (рівень доступності), а також спектральні індикатори надійності (алгебраїчну зв'язність) і надмірність (можливість альтернативних шляхів у разі відмов). Мотиви «радіально-кільцевої» та «решітчастої» організації дозволяють зрозуміти компроміс між прямолінійністю поїздок і рівномірністю навантаження.

Часово-просторова структура вводить динаміку в топологічний каркас. Замість стаціонарних параметрів використовуються часово залежні функції для кожного ребра: $t_e(\tau)$ — очікуваний час проходження, $c_e(\tau)$ — ефективна місткість, $p_e(\tau)$ — імовірність переривання (ДТП, ремонт, погодний фактор) у момент τ . На практиці застосовують два близькі уявлення. «Час-залежний граф» зберігає ту саму множину вузлів, але атрибути ребер змінюються за добовим профілем попиту та керування. «Час-розгорнутий граф» дублює вузли в дискретних зрізах часу $\{t_k\}$ і додає «дуги очікування» на зупинках; це дає точне відображення розкладів, інтервалів і обмежень на пересадки. Саме в часово-просторовому описі природно моделюються піки попиту, формування та розпад заторів, появи «ударних хвиль» черг і їх поширення від перетинів у глибину мережі. Діаграми «простір–час» для ліній (із траєкторіями рейсів) дозволяють відокремити системні затримки (світлофорні цикли, конфлікти з лівими поворотами, перехідні процеси після інциденту) від випадкових флуктуацій, а також розрахувати реальні вікна пересадок. У цьому ж полі легко формалізується модель стоянок: час зупинки на платформі є функцією інтенсивності посадки/висадки, кількості дверей, способу оплати й рівня заповнення салону, що прямо впливає на ефективний інтервал і, отже, на лінійну пропускну здатність.

Системний підхід потребує одночасного опису «пропозиції» і «попиту» з петлями зворотного зв'язку. Попит задається матрицею $O-D$, що змінюється у часі, і правилами розподілу пасажирів між маршрутами (частотний чи розкладний assignment із штрафами за пересадку та пішохідний доступ). Матриця $O-D$ (Origin–Destination matrix) — це таблиця, у якій кожен рядок відповідає *зоні походження* поїздки (звідки пасажир виїжджає), а кожен стовпець — *зоні призначення* (куди вони прямують). Елемент матриці показує кількість поїздок між конкретною парою зон за певний період часу (наприклад, годину «ранкового піку»). Пропозиція — це парк, графік, пріоритети на перетинах, виділені смуги, фізична місткість платформ і рухомого складу. Коли локальні місткісні обмеження досягаються, з'являється «скритий» компонент часу очікування (черга на посадку, пропуск переповнених вагонів), який у динамічному режимі зменшує ефективну провізну здатність. Тому оцінка

мережі завжди ітеративна: зміни headway на одній лінії перерозподіляють потоки й можуть перенавантажити пересадковий вузол в іншому місці.

Керування вбудовується у часово-просторовий опис у вигляді керованих параметрів: цикл/спліт/офсет світлофорів, пріоритет громадського транспорту на підходах, правила «holding» для вирівнювання інтервалів, skip-stop та експресні патерни, гнучкі «short-turns» у піку. Ці втручання змінюють атрибути ребер у реальному часі та повинні оптимізуватись не локально, а з урахуванням ефектів у мережі, аби не створювати нових «бутилочних горлечок».

Надійність і стійкість описуються через тополого-динамічні сценарії: видалення вузла/ребра (ремонт, аварія), деградація місткості (погодні умови), масові події. Аналіз за методом «критичних відмов» визначає мінімальні множини елементів, вихід яких з ладу призводить до неприйнятних втрат доступності; моделі перколяції показують, коли мережа переходить зі зв'язаного стану до фрагментованого. На практиці це перетворюється на пріоритети інвестування: підсилення вузлів із високою посередницькою центральністю, створення дублюючих зв'язків, подовження платформ, сегрегація смуг. Дані є «кровоносною системою» такого опису: GTFS/NeTEx задають статичну структуру та розклади, AVL/GPS і білетні системи дають потокову телеметрію, відеоаналітика та детектори — мікродинаміку затримок і заповнення. Калібрування параметрів ребер і вузлів виконується на ковзних інтервалах часу, а валідовані моделі дозволяють отримати мережеві показники доступності, надійності та реальної пропускної здатності з потрібною просторовою деталізацією.

У HCM [1] сьомого видання (2022) пропускна здатність розглядається крізь призму багатомодального функціонування міських вулиць: оцінюють рівень завантаження смуг, затримки на перехрестях, пріоритети громадського транспорту і, як наслідок, фактичну спроможність лінії рухатися зі сталими інтервалами. Методики HCM дозволяють через показники затримок і насичення циклів регулювання вивести граничні частоти руху на вуличних сегментах і визначити «вузькі місця» (світлофорні перетини, зупинки в смугах загального користування), які лімітують провізну здатність маршруту. Сьоме видання формалізує мульти-модальний аналіз і дає інструменти для оцінки швидкості/надійності транзиту на міських вулицях, що критично в умовах щільних потоків.

Комплементарно до HCM діє «Transit Capacity and Quality of Service Manual» (TCQSM) від TRB. Його логіка — будувати ємність «знизу догори»: від зупинки та платформи (берти, час стоянки, розчищення, конфлікти підходів) до лінії та коридору. Базовий принцип — пропускна здатність лінії в пасажирів за годину в одному напрямку визначається найменшим із ланцюжка

«зупинка → перегін/перетини → графік», причому інтервал формують передусім розподіли часу стоянки та очищення платформи, а не «теоретичні» інтервали випуску. TCQSM дає розрахункові процедури для автобусів/трамваїв/метро, інструментальні таблиці й приклади політик (нормовані коефіцієнти заповнення, цільові інтервали, стандарти посадки), що напряду переводяться у $pphrd$ (пас./год/напрям). Практичний наслідок підходу TCQSM — акцент на зупинковій ємності: якщо середній час стоянки з нечіткою чергою пасажирів великий, то саме платформа стає «бутилочним горлечком» незалежно від теоретичної частоти випуску. У близькій до TCQSM методології ITDP для BRT (широко застосовується як галузевий довідник) ключовим індикатором виступає «насичення док-места»: відношення сумарного часу зайнятості посадочної позиції до тривалості інтервалу спостережень (табл. 1).

Таблиця 1.

Порівняння світових стандартів транспортного планування
за критеріями пропускної здатності

Критерій	HCM (Highway Capacity Manual, США)	TRB / TCQSM (Transit Capacity and Quality of Service Manual)	UITP Guidelines	Європейські норми (CEN, нац. посібники)
1	2	3	4	5
Сфера застосування	Міські вулиці, коридори з громадським транспортом, багатомодальні сегменти	Лінії міського пасажирського транспорту: автобус, трамвай, метро, BRT	Міжнародні практичні рекомендації для операторів міського ОТ	Національні та регіональні стандарти (наприклад, VDV, британські WebTAG)
Основний об'єкт оцінки	Пропускна здатність вулично-дорожньої мережі з урахуванням руху ОТ	Пропускна здатність лінії від зупинки до коридору	Операційна і фактична спроможність системи, сервісна якість	Якість послуг громадського транспорту і планування інфраструктури
Ключові показники	Рівень обслуговування (LOS), насичення смуг, середня затримка на перехрестях	$pphrd$ (пасажирів/год/напрям), інтервал руху, коефіцієнт заповнення	Рівень завантаження, регулярність інтервалів, комфорт, надійність	Доступність, надійність, середній час поїздки, CO ₂ -викиди
Типові одиниці виміру	транспортні засоби/година, пасажирів/година у напрямку, сек/затримка	пасажирів/год/напрям, інтервал (хв), час стоянки (сек)	пасажирів/год/напрям, коефіцієнт використання парку	пасажирів/км, пасажирів/год/напрям, хвилини подорожі

1	2	3	4	5
Метод розрахунку	Аналітичні формули з поправками на світлофорні цикли та інтенсивність руху	Розрахунок від найвужчого місця: платформи/берти → перегін → графік	Комбіновані: аналітика + бенчмаркінг + кращі практики управління	Статистичні моделі, моделювання попиту, мультиагентні симуляції
Особливості підходу	Наголос на мульти-модальному аналізі та впливі регулювання світлофорів	Детальна оцінка ємності зупинок, врахування часу стоянки й очищення платформи	Акцент на експлуатаційних стратегіях та управлінні попитом у пікові години	Сильний екологічний блок, інтеграція з просторовим плануванням
Приклади впровадження	Великий досвід використання у США, адаптація для Канади та Лат. Америки	США, Канада, методична база для планування BRT та light rail	Використання в країнах ЄС, Азії, Лат. Америки для оптимізації сервісу	Німеччина (VDV-Handbuch), Велика Британія (WebTAG), Франція (CEREMA)

Сучасна оцінка пропускної здатності транспортних ліній поєднує математичну строгість, гнучке моделювання і реальний потік даних, що забезпечує не лише визначення максимальної інтенсивності руху, а й формування адаптивних, стійких до перевантажень транспортних систем великих міст. Топологія забезпечує «скелет» мережі та виявляє її структурні сильні/слабкі місця, а часово-просторова структура надає «фізіологію» — як мережа живе протягом доби, реагує на піки й інциденти та як керування здатне змінювати її стан. Лише їх поєднання дає коректну базу для розрахунку і підвищення пропускної здатності в умовах щільних міських потоків.

Висновки. Аналіз міжнародних стандартів (HCM, TRB/TCQSM, рекомендацій UITP та європейських норм) засвідчив різницю у сферах застосування й ключових показниках, однак виявив спільну тенденцію до багатомодального розгляду мережі та орієнтації на реальні умови руху. Порівняння підходів показало, що найбільшого значення набуває урахування зупинкової ємності, інтервалів руху та стохастичних процесів формування затримок. Запропоноване поєднання інженерно-транспортних методів з цифровими технологіями збору та аналізу даних (GPS-моніторинг, сенсорні мережі, машинне навчання) дає змогу описувати транспортну мережу як

цілісну соціотехнічну систему, що реагує на коливання попиту, зміни режимів регулювання та випадкові події.

Список використаних джерел

1. Transportation Research Board. (2022). *Highway capacity manual* (7th ed.). National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. <https://doi.org/10.17226/26432>
2. Transportation Research Board. (2013). *Transit capacity and quality of service manual* (3rd ed.). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/24766>
3. International Association of Public Transport. (2019). *Public transport capacity and quality: UITP policy and practice guide* (Rev. ed.). UITP. <https://www.uitp.org/publications>
4. CEN/European Committee for Standardization. (2017). *EN 13816: Public passenger transport—Service quality definition, targeting and measurement*. CEN. <https://standards.cen.eu>
5. Levinson, H.S., Zimmerman, S., Clinger, J., Gast, J., Rutherford, S., & Bruhn, E. (2003). *Bus rapid transit: Implementation guidelines*. Washington, DC: Transportation Research Board. <https://doi.org/10.17226/22364> – 400 p.
6. International Association of Public Transport (UITP). (2019). *Public transport capacity and quality: Policy and practice guide* (Rev. ed.). Brussels, Belgium: UITP. <https://www.uitp.org/publications> – 210 p.
7. White, P. (2016). *Public transport: Its planning, management and operation* (6th ed.). Abingdon, UK: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315647628> – 392 p.
8. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV). (2019). *Handbuch für die Bemessung von Verkehrsangeboten im ÖPNV* (VDV-Schrift 96). Cologne, Germany: VDV. - 350 p.

PhD, Associate Professor **Vasylieva Hanna**,

Postgraduate Student **Igor Zvarych**,

Master of the Public Administration **Cherednichenko Oleksandra**,

Kyiv National University of Construction and Architecture

INNOVATIVE METHODS FOR DETERMINING THE CAPACITY OF URBAN PUBLIC TRANSPORT LINES UNDER HIGH-DENSITY TRAFFIC CONDITIONS

The article presents the results of a scientific study aimed at improving methods for determining the capacity of urban public transport lines under conditions of high traffic density. The necessity of moving from classical static calculations to an integrated approach that combines engineering–transport models with modern digital monitoring and data analysis technologies is substantiated. Transport line capacity is treated as a dynamic characteristic dependent on traffic intensity, uneven passenger flows, control regimes, and random events. A systematic description of the urban transport network is proposed, based on topological and spatio-temporal structures that examine the interconnection between individual lines, nodes, and transfer corridors. This approach makes it possible to model not only the network configuration but also the temporal variability of its parameters, to predict congestion

formation, to assess transfer reliability, and to identify bottlenecks. The use of stochastic processes, queuing theory, discrete-event and agent-based modeling ensures a more accurate reproduction of real traffic dynamics and passenger behavior.

Special attention is paid to international standards and guidelines that define the framework of modern methodologies: the American *Highway Capacity Manual* and *Transit Capacity and Quality of Service Manual*, UITP recommendations, and European CEN standards. A comparative analysis of these documents revealed a common trend toward multimodal network assessment and a focus on actual operating conditions, emphasizing the importance of accounting for stop capacity and service headways. The results of the study are of practical value for the design and modernization of urban transport systems. The proposed algorithms and software solutions make it possible to improve service reliability, optimize timetables, reduce delays and environmental losses, and develop an adaptive, congestion-resistant public transport infrastructure for large cities.

Keywords: capacity; urban public transport; transport network; spatio-temporal analysis; network topology; high-density traffic flows; discrete-event modeling; agent-based modeling; digital sensor networks; international standards HCM; Transit Capacity and Quality of Service Manual; UITP.

REFERENCES

1. Transportation Research Board. (2022). Highway capacity manual (7th ed.). National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. <https://doi.org/10.17226/26432/>. {in English}
2. Transportation Research Board. (2013). Transit capacity and quality of service manual (3rd ed.). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/24766>. {in English}
3. International Association of Public Transport. (2019). Public transport capacity and quality: UITP policy and practice guide (Rev. ed.). UITP. <https://www.uitp.org/publications>. {in English}
4. CEN/European Committee for Standardization. (2017). EN 13816: Public passenger transport—Service quality definition, targeting and measurement. CEN. <https://standards.cen.eu>. {in English}
5. Levinson, H.S., Zimmerman, S., Clinger, J., Gast, J., Rutherford, S., & Bruhn, E. (2003). Bus rapid transit: Implementation guidelines. Washington, DC: Transportation Research Board. <https://doi.org/10.17226/22364>. – 400 p. {in English}
6. International Association of Public Transport (UITP). (2019). Public transport capacity and quality: Policy and practice guide (Rev. ed.). Brussels, Belgium: UITP. <https://www.uitp.org/publications>. – 210 p. {in English}
7. White, P. (2016). Public transport: Its planning, management and operation (6th ed.). Abingdon, UK: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315647628>. – 392 p. {in English}
8. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV). (2019). Handbuch für die Bemessung von Verkehrsangeboten im ÖPNV (VDV-Schrift 96). Cologne, Germany: VDV. – 350 p. {in English}