

УДК 656.072

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).2.331-340](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).2.331-340)

С. А. Сахно, Є. В. Любий, доц., канд. техн. наук, **О. С. Колій**, канд. техн. наук
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна
e-mail: kolioleksandr@gmail.com

Аналіз стратегій формування маршрутних мереж міст

Ключовою метою статті є проведення аналітичного огляду сучасних стратегій формування міських пасажирських маршрутних мереж. Результати аналізу сучасних практик побудови пасажирських маршрутних мереж спрямовані на удосконалення існуючих методів формування ефективних транспортних систем українських міст з урахуванням специфіки транспортного обслуговування населення громадським транспортом.

громадський транспорт, маршрутна мережа, пасажирські перевезення, транспортна система

Постановка проблеми. Ефективне функціонування міської транспортної системи є одним із ключових чинників сталого розвитку міста. В умовах зростаючої урбанізації, щоденне переміщення мільйонів пасажирів потребує чітко організованої, зручної та гнучкої маршрутної мережі (ММ), яка здатна задовольнити запити населення, мінімізувати витрати ресурсів і негативний вплив на довкілля. Особливої актуальності це питання набуває у середніх і великих містах, де інтенсивність транспортних потоків зростає, а просторове розширення міської території створює додаткові виклики.

ММ є основою організації пасажирських перевезень і визначає не лише географію доступності, а й рівень соціальної інтеграції, мобільності населення, ефективності використання транспортних засобів. Саме тому планування ММ виходить за межі виключно інженерного завдання і включає в себе комплексний аналіз соціально-економічних, географічних, екологічних і поведінкових чинників [1].

На сьогодні у різних країнах світу застосовуються різноманітні підходи до формування ММ – від традиційних радіально-кільцевих систем до складних багаторівневих моделей, побудованих на основі великих масивів даних (big data) з використанням інструментів транспортного моделювання (Visum, TransCAD та ін.). Успішні кейси європейських столиць, а також деяких українських обласних центрів, демонструють різні підходи до адаптації ММ до змін у міській структурі та потребах населення у мобільності [1-3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найчастіше під міською ММ розуміють сукупність ліній усіх систем громадського транспорту (ГТ), які забезпечують переміщення пасажирів між різними районами міста. ММ включає: геометричну конфігурацію маршрутів, пункти пересадок, зупиночні пункти, зони охоплення (зони пішої доступності), часові характеристики руху (частота, регулярність) [1-4].

Ключовими цілями на різних етапах планування і формування ММ можна вважати: максимальне покриття міської території, скорочення часу поїздки ГТ та/або часу на пересування в ММ та кількості пересадок, оптимізацію завантаження транспортних засобів, забезпечення доступності для соціально вразливих груп населення, інтеграцію з іншими видами транспорту, наприклад, велосипедним, залізничним, авіаційним [1, 2].

Основні принципи формування ММ полягають у наступному [1, 3]:

- спрямованість на попит. Планування має базуватися на аналізі фактичного і прогнозованого пасажиропотоку, дані про який отримуються за рахунок проведення регулярних досліджень або ж з автоматизованих систем його обліку;
- системність. Маршрути повинні утворювати єдину логічну систему, спрямовану на ефективне і якісне задоволення потреб населення у пересуванні;
- гнучкість. Мережа повинна адаптуватися до змін у забудові, населенні, економіці і мати резерви для удосконалення;
- раціональність. Мінімізація дублювання маршрутів і неефективних ділянок.

Існують різні типи конфігурацій ММ, серед яких найпоширенішими можна вважати наступні [5]: радіально-кільцева модель, лінійно-коридорна (магістральна), грід (решіткова модель), гібридна мережа.

Перший тип ММ є характерним для великих міст з історичним центром, в яких центральна зона охоплюється кільцевими маршрутами, від яких радіально відходять лінії у віддалені райони. Другий тип ММ будується навколо головних транспортних коридорів із високою пропускнуою здатністю і часто використовується в системах Bus Rapid Transit (BRT). За умов використання третього типу ММ маршрути формуються у вигляді прямокутної сітки з пересадками на перехрестях, забезпечуючи при цьому рівномірне покриття міської території. Четвертий тип ММ поєднує кілька моделей для досягнення балансу між покриттям та ефективністю і часто зустрічається у європейських містах.

Для оцінювання ефективності діючих і пропонованих варіантів ММ може бути використаний достатньо широкий перелік критеріїв, ключовими з яких є [1, 2, 6, 7]:

- показники доступності, найчастіше представляється як відсоток населення, що мешкають в зоні пішої доступності до зупинок ГТ або через середню відстань підходу пасажирів до зупинки;
- показники якості транспортного обслуговування: середній час поїздки або пересування; середня відстань пересування пасажирів, коефіцієнт пересадочності (частка поїздок із пересадками), час очікування;
- показники фінансової ефективності: рівень окупності витрат, прибуток;
- показники екологічної ефективності, наприклад, кількість викидів CO₂ на 1 пасажиро-кілометр.

Слід також розуміти, що сучасні підходи до планування ММ повинні ґрунтуватися на використанні передових технологій, які використовуються для моніторингу трафіку у містах (глобальна навігаційна супутникова система, GPS), обліку поїздок пасажирів у ГТ, наприклад, Smart Card Data, геоаналітики і моделювання ММ (геоінформаційні системи, GIS, програмні продукти транспортного моделювання), оптимізації маршрутів у режимі реального часу (різноманітні мобільні додатки для відстежування транспорту і планування поїздок). Але на даному етапі більшість з цих технологій не є доступними для українських міст через поєднання фінансових, інституційних, технічних і соціальних бар'єрів. Тут можна відзначити, що переважна кількість українських міст стикається з браком фінансування розвитку ГТ, яке значною мірою залежить від державних субвенцій, що стає перепорою на шляху закупівлі та використання інформаційних комплексів GPS-моніторингу ГТ, автоматизованих систем обліку пасажиропотоків, ліцензійного програмного забезпечення для транспортного моделювання. Слід також відзначити й недостатній рівень цифрової інтеграції між перевізниками, органами місцевого самоврядування і державними реєстрами, що створює додаткові проблеми з обміном, верифікацією і стандартизацією інформації про результати роботи ГТ. Стосовно технічної інфраструктури багатьох українських міст слід розуміти, що на даний час вона не

готова до безперервної роботи таких систем через нестабільний мобільний зв'язок на периферії, застарілий рухомий склад без сучасних бортових систем і відсутність локальних центрів обробки даних. До наведеного вище слід також додати інституційну інерцію та низьку культуру використання даних у плануванні ГТ як з боку чиновників, так і приватних перевізників, що гальмує перехід до аналітично-орієнтованого управління. А низька цифрова грамотність частини населення та обмежене поширення транспортних карт знижують ефективність таких рішень, як мобільні додатки для оптимізації маршрутів чи автоматизований облік поїздок. У сукупності ці фактори зумовлюють фрагментарність і точковість впровадження інновацій, що значно відрізняє українську практику від провідних світових прикладів [1].

Постановка завдання. Метою статті є аналіз існуючих стратегій формування ММ у містах на основі порівняння української практики з міжнародним досвідом, з акцентом на ефективність, адаптивність і сталість розроблених рішень. Результати даного дослідження повинні стати одним із перших кроків на етапі розробки методології формування принципів і стратегій удосконалення ММ з урахуванням провідного світового досвіду та специфіки українських міст.

Виклад основного матеріалу. Слід почати з розгляду ключових українських і світових практик формування ММ та їхнього порівняння з урахуванням специфіки цих міст.

Київ має радіально-кільцеву модель ММ (рисунок 1), де центр міста і радіальні напрямки переважно обслуговуються різними системами ГТ: метро, трамваї, тролейбуси, кільцева електричка, автобуси, а також маршрутні таксі (маршрутки), що сполучають віддалені райони з центром і між собою. За даними дослідження Світового Банку (Sustainable Urban Transport for Kyiv) 94 % населення міста проживає у межах 400 м до зупинки ГТ, що свідчить про високий рівень покриття ММ міської території [8].

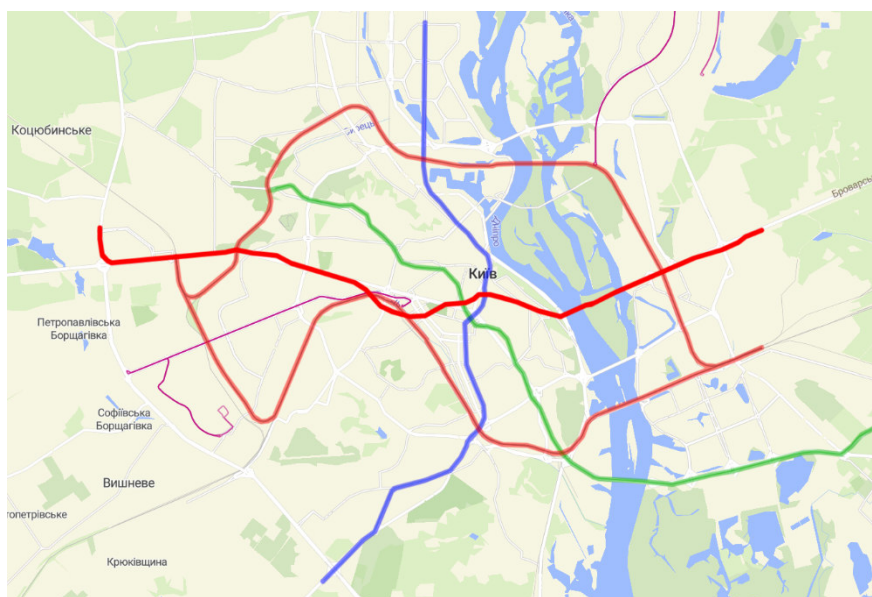


Рисунок 1 – Фрагмент ММ міста Києва (мережа маршрутів метро і кільцевої електрички)

Джерело: розроблено з використанням <https://www.eway.in.ua/ua/cities/kyiv/>

Водночас одним із ключових викликів для столиці є затори й уповільнення руху маршрутного транспорту. Дослідження щодо пріоритизації руху ГТ у Львові показують, що просторово-часова пріоритизація здатна значно скоротити затримки до рівня, коли визначальним критерієм стає не кількість транспортних засобів, а кількість перевезених людей [9, 10]. У Києві такі підходи тільки починають впроваджуватися.

Маршрутні таксі грають помітну роль у ММ столиці. За даними ресурсу EasyWay [11] станом на початок серпня 2025 року у місті функціонує 96 маршрутів з автобусами середньої та малої місткості, що забезпечують додаткову гнучкість, але створюють дублювання маршрутів і проблеми з інтеграцією до комунального транспорту.

У свою чергу, Львів має компактну і густонаселену територіальну структуру, що у два рази перевищує щільність міст-порівнянь, таких як Лейпциг або Краків [12]. Це обмежує можливість розширення дорожніх магістралей для автомобільного транспорту й породжує потребу у розвитку саме громадського та екологічного електротранспорту.

Львівелектротранс – комунальне підприємство, яке обслуговує місто з мережею з 8 трамвайних і 10 тролейбусних маршрутів (станом на початок серпня 2025 р.) [13]. На рисунку 2 представлено схеми маршрутів електротранспорту міста Львів.

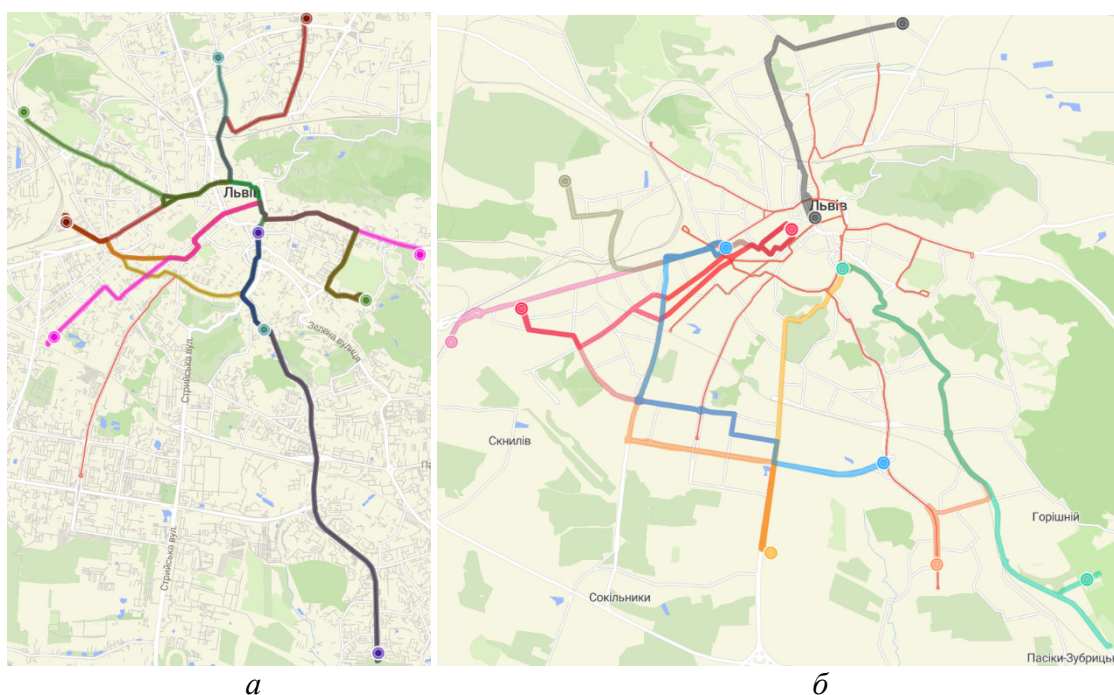


Рисунок 2 – Конфігурація ММ електротранспорту міста Львів: а – трамвай, б – тролейбус
Джерело: розроблено з використанням <https://www.eway.in.ua/ua/cities/lviv>

У статті [14] представлені результати оцінювання ефективності функціонування ММ міста Львів станом на 2020 рік, де зазначено, що:

- оптимальна тривалість поїздки в ГТ складає 15–45 хвилин (77 % поїздок);
- поїздки відбуваються у комфортних умовах – заповнення салону транспортних засобів не перевищує 80 %;
- довжина пішого підходу до зупинок ГТ не перевищує 600 м для 84 % користувачів ГТ.

Київ демонструє класичний приклад централізованої ММ з інфраструктурою метро та розгалуженою мережею маршрутних автобусів. Висока доступність транспорту, але недостатнє управління рухом призводить до зниження швидкості перевезень.

ММ Львова характеризується компактною структурою, що обмежує можливості капітальних змін в інфраструктурі, але стимулює розвиток електротранспорту та

використання пріоритизації. Основні виклики – комфортність пересадок, інтеграція з іншими видами транспорту, оптимізація маршрутів згідно з попитом.

Спільним для обох міст є необхідність активнішої інтеграції сучасних ІТ-технологій, GPS, GIS-моделей і мобільних додатків для глибшого аналізу попиту й адаптивного планування ММ. Результати порівняльного аналізу ММ міста Київ і Львів представлені у таблиці 1.

Щодо кращих європейських практик, то тут необхідно відзначити «модель Цюриха». Місто підтримує один із найвищих показників користування ГТ. Це відбувається завдяки інтегрованій структурі маршрутів (трамваї, автобуси, S-Bahn, човни, фунікулери), високій частоті руху й системі тарифів. ММ проста в користуванні, з великою кількістю інформаційних табло і зручною навігацією. Квитки на ГТ коштують недешево, але вони дозволяють користуватися всіма видами транспорту в межах визначеної зони [15].

Прикладом інтеграції мульти-модальних систем є Діжон, Франція. Система ГТ Діжона, що включає трамваї, автобуси й велосипеди, ефективно знизилу частку приватного автотранспорту та зменшила затори. Єдиний оператор забезпечує координацію всіх видів ГТ, уніфіковані тарифи й спільне брендуння, що підвищує зручність і привабливість для пасажирів.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз ММ міст

Характеристика	Київ	Львів
Структура мережі	Радіально-кільцева + масив маршрутних автобусів	Компактна радіальна/кільцева + потужний електротранспорт
Покриття	94 % населення в межах 400 м від зупинки ГТ	Високе покриття, але піший підхід до 600 м
Пріоритизація	Обмежена реалізація	Сегментація доріг для часової пріоритизації маршрутів
Системи транспорту	Метро, трамвай, тролейбус, автобус, маршрутні автобуси	Трамвай, тролейбус, автобуси високої місткості, маршрутні автобуси
Інформаційні технології	Часткова інтеграція GPS-даних та результатів транспортного моделювання	Активне використання мобільних додатків і GPS-аналітики. Моделювання на мікро- та макрорівнях: Vissim, Visum

Шляхом розвитку сталої мобільності пішов Копенгаген. Хоча й ключова увага приділяється велосипедній інфраструктурі, рішення Копенгагену у плануванні міської мобільності включають також інтенсивне використання ГТ, наприклад, автобусів і трамваїв. Місто поєднує інфраструктурні, регуляторні та популяризаційні заходи, створюючи умови, де понад 68 % мешканців використовують велосипед принаймні раз на тиждень, а реалізована стратегія сприяє зменшенню автомобілеорієнтованих поїздок [16].

Результати аналізу 24 середніх міст Скандинавії показують, що вони переходять до ієрархічної структури ММ: високочастотні магістральні лінії вузлових маршрутів (trunk-routes) доповнюються крос- і фідерними маршрутами. Планування ММ фокусується на простоті мережі, гнучкості структури, зниженні витрат та адаптації до попиту [17].

На прикладі Риму, Італія було запропоновано нову методику формування мережі автобусних маршрутів, яка дозволяє враховувати коливання попиту з точки зору планування [18]. У дослідженні було застосовано мобільні дані для створення кандидатів маршрутів, а також оптимізовано мережу автобусних маршрутів з

урахуванням прямих сполучень та часу поїздки. Також враховано гнучке реагування на перевищення попиту – з використанням змішаних маршрутів та адаптивної частоти.

У свою чергу, у дослідженні щодо оптимізації автобусної мережі Барселони доведено, що оптимальна конфігурація мережі може знизити загальні системні витрати на 17 %, а викиди CO₂ – на 50 %, без зниження рівня обслуговування пасажирів [19]. Такі результати демонструють економічну та екологічну вигоду від грамотного дизайну ММ.

Стосовно інших кращих світових практик, то слід відзначити класику BRT – Курітіба, Бразилія. Система Curitiba BRT, яка обслуговує 85 % населення міста (близько 2–3 мільйони пасажирів на день), є прикладом добре продуманої фідерної і магістральної мережі з виділеними смугами, платформами з оплатою перед посадкою в транспортний засіб, урізаними часами зупинок і виділеними смугами для швидкісних маршрутів. Підхід Curitiba став моделлю для десятків інших міст світу, включаючи азійські мегаполіси [20].

Сучасний BRT на основі великого міста – це система Cairo BRT, що розташована вздовж кільцевої дороги Каїру, Єгипет, включає 48 станцій і 100 електробусів, які працюють цілодобово із середнім інтервалами близько 10 хв. Вона інтегрована з іншими видами ГТ, застосовує оплату перед посадкою, ескалатори, підземні переходи й паркінги біля станцій – класичний приклад сучасної BRT-інфраструктури в мегаполісі [21].

Ієрархічні та модульні структури (Цюріх, скандинавські міста) забезпечують баланс між частотою маршрутів та їх зрозумілістю для пасажирів. BRT-підходи (Курітіба, Каїр) можна цілком вважати інструментом для достатньо швидкого масштабування системи ГТ з високим охопленням територій міста і швидкістю сполучення. Використання методів орієнтованих на попит, а також адаптивний дизайн (Барселона, Рим) дозволяють оптимізувати ММ з урахуванням інформації про фактичні або прогнозовані потреби у перевезенні. А застосування мульти-модальних моделей (Діжон, Копенгаген) сприяє підвищенню привабливості систем ГТ за рахунок налагодження взаємодії різних систем міського пасажирського транспорту.

За результатами попереднього аналізу закордонного досвіду формування міських ММ можна цілком стверджувати, що застосовані підходи характеризуються системністю і базуються на наступних принципах:

- ієрархічна структура. Магістральні → фідерні → локальні маршрути;
- системність у плануванні всього міського простору з транспортом як «основою мобільності»;
- оптимізація за критеріями часу поїздки/пересування, частоти/інтервалу руху, вартості обслуговування та/або інших;
- застосування цифрових інструментів для аналізу попиту та моделювання мережі.

В українській практиці у більшості міст домінують радіально-коридорні моделі, без повноцінної ієрархії маршрутів, наявне накладання маршрутів, дублювання руху та слабка логістична оптимізація, відсутнє централізоване програмне моделювання попиту, мережі формуються не за планом, а як реакція на приватну ініціативу чи спонтанний попит, часто відсутня інтеграція між видами транспорту, наприклад, автобусна мережа не доповнює електротранспорт, а дублює його [1].

Слід відзначити широку практику застосування транспортного моделювання для планування і удосконалення ММ іноземних міст (PTV Visum, TransCAD, SUMO), використання мобільних даних (CDR, GPS) та опрацювання big data у реальному часі. Все це дає змогу визначати актуальні транспортні і пасажиропотоки, створювати

оптимальні й адаптивні маршрути, а також швидко реагувати на зміни поведінки пасажирів.

В Україні застосування подібних систем фрагментарне. Навіть у великих містах аналітика не є частиною системного процесу планування. Часто оновлення ММ базується на інтуїції, зверненнях громадян або конфліктних ситуаціях (переповненість, аварійність).

Слід також відзначити, що на відміну від країн ЄС, де є чітка вертикаль стратегічного планування (національні – регіональні – муніципальні стратегії з інтегрованим управлінням мобільністю), в Україні відсутня чітка інтеграція заходів для підвищення ефективності функціонування міського пасажирського транспорту:

- державна політика з транспортного планування слабо впроваджена на місцях;
- міста не зобов'язані створювати плани сталої міської мобільності (SUMP), а якщо створюють – часто це проекти, що залишаються нереалізованими.

Узагальнена характеристика вітчизняної і закордонних практик щодо формування ММ представлена в таблиці 2.

Таблиця 2 – Узагальнена характеристика практик формування ММ

Критерій	Україна	Іноземні практики
Модель формування	Реактивна, децентралізована	Стратегічна, централізована
Тип структури мережі	Коридорно-радіальна, хаотична	Ієрархічна, оптимізована
Використання даних	Мінімальне або відсутнє	Широке застосування big data
Інтеграція видів транспорту	Слабка	Сильна
Роль приватного сектору	Визначальна	Допоміжна
Планування розвитку	Переважно ситуативне	Засноване на моделях і ключових показниках ефективності

Якщо розглядати питання формування міських ММ з позиції транспортного планування, то двома найпоширенішими стратегіями їх створення є стратегія основного маршруту та стратегія однієї пересадки [1, 6, 7]. Перша стратегія передбачає побудову мережі на основі кількох високопродуктивних магістральних маршрутів, які проходять головними транспортними коридорами міста. Такі маршрути за своєю конфігурацією найчастіше є діаметральними і створюють основний каркас ММ. Основними рисами таких маршрутів є висока частота руху транспортних засобів, використання транспортних засобів з великими провізними можливостями (трамваї, тролейбуси, метро) для задоволення основних потреб у пересуванні, наявність пріоритету в русі за рахунок різноманітних організаційно-технічних заходів. Для обслуговування міських територій, що знаходяться поза межами основних магістралей, розробляється система підвізних (радіальних та/або хордових) маршрутів, що використовується для перевезення пасажирів до пересадочних пунктів на основні маршрути. З технологічної точки зору основною перевагою стратегії основного маршруту є її направленість на швидке транспортне обслуговування віддалених транспортних районів міста, але з'являється необхідність у додатковій пересадці при здійсненні пересування [1, 6, 7].

На відміну від першої стратегії однієї пересадки орієнтується на мінімізацію кількості пересадок при здійсненні пересування. ММ будується так, щоб з будь-якої частини міста можна було дістатися до іншої, здійснивши не більше ніж одну пересадку. Це досягається завдяки ретельній синхронізації руху транспортних засобів

на маршрутах, які перетинаються у визначених транспортних вузлах. Ключовою рисою цієї стратегії є створення зручних умов для швидкої та комфортної пересадки. Транспорт має прибувати до вузла з різних напрямків у визначений час, що дозволяє пасажиром із мінімальним часом очікування здійснювати пересадку. Такий підхід особливо ефективний у містах із поліцентричною структурою або там, де попит рівномірно розподілений на території. Проте він вимагає високого рівня координації перевізників, точності дотримання розкладів і добре розвиненої інфраструктури пересадкових вузлів. У разі збоїв графіку руху порушується уся система пересадок, що може призводити до значних незручностей для пасажирів [1, 6, 7].

Обидві стратегії мають свої переваги і недоліки та можуть застосовуватися залежно від просторової структури міста, характеру транспортного попиту і пріоритетів у розвитку системи ГТ. Слід відзначити, що на практиці часто використовується поєднання обох стратегій, за рахунок чого формується потужна мережа основних маршрутів, яка поєднується з розгалуженою мережею підвізних. Такий підхід до організації роботи ММ забезпечує баланс між ефективністю перевезень і зручністю пересування для пасажирів.

Висновки. За результатами дослідження встановлено, що проблема побудови міських ММ є складним завданням, ефективне вирішення якого передбачає наявність інформації про існуючий попит на пересування пасажирів, розробку, на основі цих даних, моделей транспортного попиту, розробку загальної транспортної моделі системи ГТ міста, на основі якої можна здійснювати оцінку ефективності різних варіантів розвитку ММ.

Закордонний досвід побудови ММ ґрунтується на інтегрованих, багаторівневих підходах, в основу яких закладаються сучасні принципи просторового розвитку міст, результати постійного моніторингу змін у мобільності населення, актуальні екологічні виклики, а також нові інтелектуальні технології. На відміну від цього, українська практика формування ММ, на прикладі переважної більшості міст, є фрагментарною, орієнтованою на короткострокові потреби у пересуванні та обмежена за ресурсами. Все це призводить до дублювання маршрутів, перевантаження окремих напрямків, неефективного охоплення міських районів.

Відсутність довгострокової транспортної стратегії з чіткими цільовими показниками, відсутність планово-прогнозних інструментів (моделювання, аналізу попиту, оптимізації маршрутів), низький рівень фінансування ГТ, домінування приватного сектору, який не зобов'язаний працювати відповідно до суспільних інтересів, слабе впровадження міжнародних практик (SUMP, обґрунтоване субсидіювання) створюють суттєві проблеми для розвитку пасажирського транспорту в українських містах.

З огляду на глобальні тенденції, подальші дослідження повинні зосередитися на використанні штучного інтелекту та машинного навчання для моделювання попиту та проектування маршрутів, розвитку мультимодальних систем (інтеграція велосипедів, самокатів, каршерінгу), дослідженні поведінкових факторів при виборі маршруту та розробці адаптивних мереж у реальному часі – з можливістю зміни маршруту залежно від навантаження чи подій у місті.

Список літератури

1. Любий С. В., Свічинська О. В., Токмиленко Т. Т., Чижик В. М., Горбачов П. Ф., Свічинський С. В., Кочина А. А. Транспортні системи: актуальні проблеми планування, функціонування та аналізу : колективна монографія / за заг. ред. П. Ф. Горбачова. Харків : СГ НТМ «Новий курс», 2025. 262 с. <https://doi.org/10.61718/tsl2025m1>.

2. Чуйко С. П., Шумляківський В. П. Основні параметри і предмет розвитку маршрутної мережі автобусних міських перевезень. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2022. 33(72). С. 337–342. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/52>.
3. Горбачов П. Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.01. Харків, 2009. 370 с.
4. Вдовиченко В. О. Методологічні основи формування системної ефективності громадського пасажирського транспорту в умовах сталого розвитку : монографія. Харків : ХНАДУ, 2017. 212 с.
5. Badia H. Comparison of Bus Network Structures in Face of Urban Dispersion for a Ring-Radial City. *Networks and Spatial Economics*. 2020. Vol. 20. P. 233–271. <https://doi.org/10.1007/s11067-019-09474-5>.
6. Аналіз діючої транспортної мережі м. Конотоп... : звіт про НДР (заключний). ХНАДУ, № держ. реєстрації 0121U112782. Харків, 2021. 124 с.
7. Розробка комплексної схеми руху транспорту м. Луцька : звіт про НДР (заключний). ХНАДУ, № держ. реєстрації 0117U006848. Харків, 2018. 309 с.
8. Sustainable Urban Transport for Kyiv. Офіц. сайт Energy Sector Management Assistance Program. URL: <https://www.esmap.org/...> (дата звернення: 06.07.2025).
9. Yevchuk Yu. Speed of urban public transport as criterion of the justification of spatial and time-based prioritization. *Transport technologies*. 2024. Vol. 5(2). P. 33–41. <https://doi.org/10.23939/tt2024.02.033>.
10. Royko Yu., Yevchuk Yu., Bura R., Velhan A. Minimization of public transport delays at arterial streets with coordinated motion. *Transport technologies*. 2022. Vol. 3(1). P. 14–29. <https://doi.org/10.23939/tt2022.01.014>.
11. Маршрутка. Офіц. сайт EasyWay. URL: <https://www.eway.in.ua/...> (дата звернення: 01.08.2025).
12. Liubyskyi R. Development of the transport network considering the specifics of Lviv's planning structure (compared to Leipzig and Krakow). *Architectural Studies*. 2023. Vol. 9(2). P. 58–71. doi:10.56318/as/2.2023.58.
13. Online-map. Офіц. сайт ЛКП «Львівавтодор». URL: www.let.org.ua/online-map (дата звернення: 01.08.2025).
14. Gits I., Zhuk M., Pivtorak H. Analysis of demand for public transport service in Lviv city. *Transport technologies*. 2020. Vol. 1(2). P. 57–64. <https://doi.org/10.23939/tt2020.02.057>.
15. Timetable & Information. Офіц. сайт ZVV. URL: <https://www.zvv.ch/...> (дата звернення: 03.08.2025).
16. Green Cities and Transportation. Офіц. сайт MavsOpenPress. URL: <https://uta.pressbooks.pub/...> (дата звернення: 03.08.2025).
17. Weckström C., Mladenović M. N. Evaluation of public transport policy formulation and implementation: Case study of 24 mid-sized Nordic cities. *Transportation Research Procedia*. 2020. Vol. 45. P. 979–986. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.068>.
18. Gemma A., Cipriani E., Crisalli U., Mannini L., Petrelli M. A Bus Network Design Model under Demand Variation: A Case Study of the Management of Rome's Bus Network. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. P. 803. <https://doi.org/10.3390/su16020803>.
19. Griswold J. B., Sztainer T., Lee J., Madanat S., Horvath A. Optimizing Urban Bus Transit Network Design Can Lead to Greenhouse Gas Emissions Reduction. *Frontiers in Built Environment*. 2017. Vol. 3. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2017.00005>.
20. Brazil – Curitiba Urban Transport Project. Офіц. сайт Світового банку. URL: <https://documents.worldbank.org/> (дата звернення: 04.08.2025).
21. Egypt starts training Bus Rapid Transit drivers on Cairo's Ring Road. Офіц. сайт AhramOnline. URL: <https://english.ahram.org.eg/> (дата звернення: 04.08.2025).

References

1. Liubiyi, Ye. V., Svichynska, O. V., Tokmylenko, T. T., Chyzhyk, V. M., Horbachov, P. F., Svichynskyi, S. V., & Kochyna, A. A. (2025). *Transport Systems: Current Problems of Planning, Functioning and Analysis: Collective Monograph*. Kharkiv: SHNTM "Novyi Kurs". <https://doi.org/10.61718/tsl2025m1> [in Ukrainian].
2. Chuiko, S. P., & Shumliakivskyi, V. P. (2022). Main parameters and subject of development of the urban bus route network. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky*, 33(72), 337–342. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/52> [in Ukrainian].
3. Horbachov, P. F. (2009). Concept of formation of route passenger transport systems in cities (Doctoral dissertation). Kharkiv [in Ukrainian].
4. Vdovychenko, V. O. (2017). Methodological foundations of forming the system efficiency of public passenger transport under sustainable development. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
5. Badia, H. (2020). Comparison of bus network structures in face of urban dispersion for a ring-radial city. *Networks and Spatial Economics*, 20, 233–271. <https://doi.org/10.1007/s11067-019-09474-5>.
6. Analysis of the existing transport network of Konotop... (2021). Final research report. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
7. Development of the comprehensive traffic scheme of Lutsk (2018). Final research report. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
8. Sustainable Urban Transport for Kyiv. (n.d.). *Energy Sector Management Assistance Program*. Retrieved July 6, 2025, from <https://www.esmap.org/...>

9. Yevchuk, Yu. (2024). Speed of urban public transport as criterion of the justification of spatial and time-based prioritization. *Transport Technologies*, 5(2), 33–41. <https://doi.org/10.23939/tt2024.02.033>.
10. Royko, Yu., Yevchuk, Yu., Bura, R., & Velhan, A. (2022). Minimization of public transport delays at arterial streets with coordinated motion. *Transport Technologies*, 3(1), 14–29. <https://doi.org/10.23939/tt2022.01.014>.
11. Route taxi. (n.d.). *EasyWay*. Retrieved August 1, 2025, from [https://www.eway.in.ua/...](https://www.eway.in.ua/) [in Ukrainian].
12. Liubyskyi, R. (2023). Development of the transport network considering the specifics of Lviv's planning structure (compared to Leipzig and Krakow). *Architectural Studies*, 9(2), 58–71. <https://doi.org/10.56318/as/2.2023.58>.
13. Online map. (n.d.). *LKP "Lvivavtodor"*. Retrieved August 1, 2025, from <https://www.let.org.ua/online-map> [in Ukrainian].
14. Gits, I., Zhuk, M., & Pivtorak, H. (2020). Analysis of demand for public transport service in Lviv city. *Transport Technologies*, 1(2), 57–64. <https://doi.org/10.23939/tt2020.02.057>.
15. Timetable & Information. (n.d.). *ZVV*. Retrieved August 3, 2025, from [https://www.zvv.ch/...](https://www.zvv.ch/)
16. Green Cities and Transportation. (n.d.). *MavsOpenPress*. Retrieved August 3, 2025, from [https://uta.pressbooks.pub/...](https://uta.pressbooks.pub/)
17. Weckström, C., & Mladenović, M. N. (2020). Evaluation of public transport policy formulation and implementation: Case study of 24 mid-sized Nordic cities. *Transportation Research Procedia*, 45, 979–986. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.068>.
18. Gemma, A., Cipriani, E., Crisalli, U., Mannini, L., & Petrelli, M. (2024). A bus network design model under demand variation: A case study of the management of Rome's bus network. *Sustainability*, 16, 803. <https://doi.org/10.3390/su16020803>.
19. Griswold, J. B., Sztainer, T., Lee, J., Madanat, S., & Horvath, A. (2017). Optimizing urban bus transit network design can lead to greenhouse gas emissions reduction. *Frontiers in Built Environment*, 3. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2017.00005>.
20. Brazil – Curitiba urban transport project. (n.d.). *World Bank*. Retrieved August 4, 2025, from <https://documents.worldbank.org/>.
21. Egypt starts training bus rapid transit drivers on Cairo's Ring Road. (n.d.). *AhramOnline*. Retrieved August 4, 2025, from <https://english.ahram.org.eg/>.

Sakhno Serhii, Yevhen Liubyi, Assoc. Prof., PhD in Engineering, **Kolii Oleksandr**, PhD in Engineering
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

Analysis of Strategies for Developing Urban Route Networks

The article explores strategies for designing urban route networks with a focus on ensuring efficient, sustainable, and adaptive public transportation systems. The analysis is grounded in a comparative approach that examines the current practices in Ukrainian cities alongside leading international experiences. The paper outlines key principles of urban route network planning, including demand orientation, system coherence, flexibility, and rationality. Various network configurations – such as radial-ring, corridor-based, grid, and hybrid models – are reviewed, along with core efficiency indicators such as accessibility, service quality, financial viability, and environmental performance.

The route networks of Kyiv and Lviv are analyzed as case studies representing different spatial structures and transport planning challenges. Kyiv features a radial-ring model with extensive use of metro and private minibuses, while Lviv emphasizes electric transport and compactness. Despite relatively high network coverage in both cities, issues such as overlapping routes, limited integration across transport modes, and insufficient prioritization of public transit persist. These cases are contrasted with best practices from cities like Zurich, Copenhagen, Dijon, Barcelona, Curitiba, Rome, and Cairo, where route networks are developed through strategic, centralized planning, supported by digital modelling tools, big data analytics, and multimodal coordination.

The article concludes that urban transit planning in Ukraine remains largely reactive and fragmented, constrained by limited funding, outdated infrastructure, weak institutional capacity, and minimal use of data-driven tools. In contrast, international models demonstrate the benefits of hierarchical networks, integrated systems, and adaptive management based on performance metrics and mobility demand.

Future research should focus on implementing AI and machine learning for demand prediction and route optimization, integrating shared mobility modes (bikes, scooters, carsharing), analyzing behavioral patterns in passenger movement, and developing real-time adaptive networks capable of responding to dynamic urban conditions.

public transport, route network, passenger transport, transport system

Одержано (Received) 11.08.2025

Прорецензовано (Reviewed) 20.10.2025

Прийнято до друку (Approved) 28.10.2025