

М. В. Митко, канд. техн. наук, доц; С. А. Бурлака, д-р філос., доц.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА РОЗВИТОК ІНФРАСТРУКТУРИ МОСТІВ МІСТА ВІННИЦЯ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ РІЗНИХ ВИДІВ ТРАНСПОРТУ І ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ

У статті розглянуто питання підвищення ефективності транспортної мережі м. Вінниця шляхом удосконалення взаємодії між різними видами транспорту та розвитку мостової інфраструктури. Визначено роль мостових переходів як ключових елементів міської транспортної системи, що забезпечують зв'язок між густонаселеними районами, промисловими зонами та основними магістралями. Проаналізовано сучасний стан мостів через річку Південний Буг і виявлено основні проблеми: перевантаження центральних артерій, нерівномірний розподіл потоків і недостатній розвиток електротранспорту.

Особливу увагу приділено перспективним напрямкам розвитку мостової інфраструктури, зокрема можливостям будівництва нових мостів у районах «Старе місто – Урожай» та «Сабарів – Старе місто», а також створенню альтернативного транспортного сполучення по осі вулиць Радіона Скалецького – Нагірна. Проведено порівняльну оцінку потенційного впливу цих проєктів на транспортну ситуацію міста з позицій зменшення навантаження на Центральний, Київський та Староміський мости, підвищення транспортної доступності районів та оптимізації руху громадського транспорту.

Запропоновано концепцію розширення транспортних артерій до двох-трьох смуг у кожному напрямку з облаштуванням суміщених шляхопроводів, які включають виділені смуги для громадського транспорту, велосипедистів і пішоходів. Такий підхід сприятиме формуванню сучасної, екологічно збалансованої системи міської мобільності. Обґрунтовано доцільність створення комбінованих мостових переходів, які поєднують автомобільний, трамвайний і тролейбусний рух.

Розроблено концептуальну схему такого мостового переходу з оцінкою його технічної реалізації, економічної доцільності та екологічного ефекту. Рекомендовано застосування геоінформаційних систем для аналізу транспортних потоків, моделювання пропускної здатності мостів і вибору оптимальних місць для нових транспортних переходів. Запропоновані рішення можуть бути використані під час стратегічного планування розвитку транспортної інфраструктури Вінниці та формування ефективної системи міської мобільності.

Ключові слова: транспортна інфраструктура, пропускна здатність, мости, взаємодія видів транспорту, шляхи сполучення, транспортні засоби, трамвай, тролейбус, транспортні потоки, стан доріг, інноваційні рішення.

Вступ

Розвиток транспортної інфраструктури міста Вінниця є ключовою умовою забезпечення ефективного функціонування міської мобільності, економічного зростання та екологічної безпеки. Одним із головних елементів транспортної системи міста є мостові переходи через річку Південний Буг, які виконують стратегічну функцію з'єднання густонаселених районів «Старе місто», «Замостя», «Урожай», «Сабарів» та промислових зон [1], [2].

На сьогодні транспортна мережа Вінниці стикається з проблемами перевантаження основних магістралей, особливо у години пік. Наявні мости – Центральний, Київський та Староміський – працюють на межі своєї пропускної здатності, що призводить до утворення тривалих заторів, збільшення часу в дорозі та підвищення рівня шкідливих викидів. Водночас нові житлові райони міста, зокрема Вишенька, Сабарів, Старе місто і Тяжилів продовжують активно розвиватися, що вимагає створення додаткових шляхів сполучення для забезпечення транспортної доступності та рівномірного розподілу транспортних потоків різних видів транспорту – автомобільного, електротранспортного (трамвайного, тролейбусного) і пішохідного.

Як свідчить публікація журналіста Віталія Павловського «Співчуваю жителям Старого

міста» на сайті 20 хвилин RIA, питання потреби у нових мостах у Вінниці вже неодноразово піднімалося на публічному рівні [1]. У матеріалі відображено суспільний запит на розвантаження центральних транспортних артерій та формування альтернативних маршрутів, що були закладені у «Стратегії розвитку міста Вінниця до 2030 року» [2] (розроблений на основі «Комплексної стратегії міського транспорту і просторового розвитку» від 2015 року). Разом із тим, як зазначає «Агенція просторового розвитку», чинний генеральний план міста не має достатнього економічного підґрунтя, а тому його практична реалізація є проблематичною, що підсилює потребу в оновленні стратегічних підходів до транспортного планування.

Після початку повномасштабної війни у 2022 році населення Вінниці суттєво збільшилося через переміщення внутрішньо переміщених осіб, що додатково підвищило навантаження на транспортну мережу. Це загострило потребу у розширенні дорожньої інфраструктури та створенні нових мостових переходів для забезпечення ефективного транспортного сполучення між районами. На рис. 1 наведено фрагмент схеми генерального плану міста, де відображено два перспективних місця для будівництва нових мостів [1].



Рис. 1. Генеральний план будівництва мостів і шляхопроводів у місті Вінниця[1]

З огляду на сучасну транспортну ситуацію, постає питання визначення пріоритетного об'єкта для реалізації. На основі аналізу просторових планів і транспортних потоків м. Вінниці, можна стверджувати, що будівництво мосту в напрямку «Урожай – Старе місто» має стратегічне значення для розвантаження центральної частини міста та створення альтернативного маршруту для громадського транспорту. Такі висновки узгоджуються із положеннями Стратегії просторового розвитку Вінниці [2] та сучасними концепціями сталої міської мобільності [3], [4].

Відповідно до Стратегії просторового розвитку Вінниці [2], розглядаються дві концептуальні моделі організації міського простору – «Компактне місто» та «Місто-кільце». Перша передбачає концентрацію основних функцій у центральній частині, тоді як друга базується на розвитку периферійних зв'язків і рівномірному розподілі транспортних потоків між районами. На рис. 2 і 3 представлено схеми обох моделей. Аналіз свідчить, що нинішня транспортна інфраструктура вже не відповідає потребам «Компактного міста», і подальший розвиток має орієнтуватися на децентралізовану модель, яка передбачає активне розширення дорожньої мережі та реалізацію нових мостових переходів у форматі «Brownfield»-будівництва.

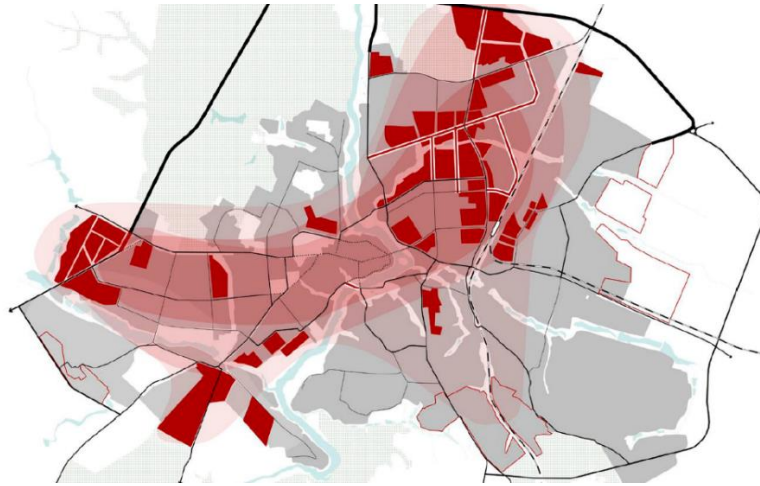


Рис. 2. Модель «Компактне Місто» – розвиток територій та дорожньої інфраструктури згідно зі Стратегії міста Вінниця [2]

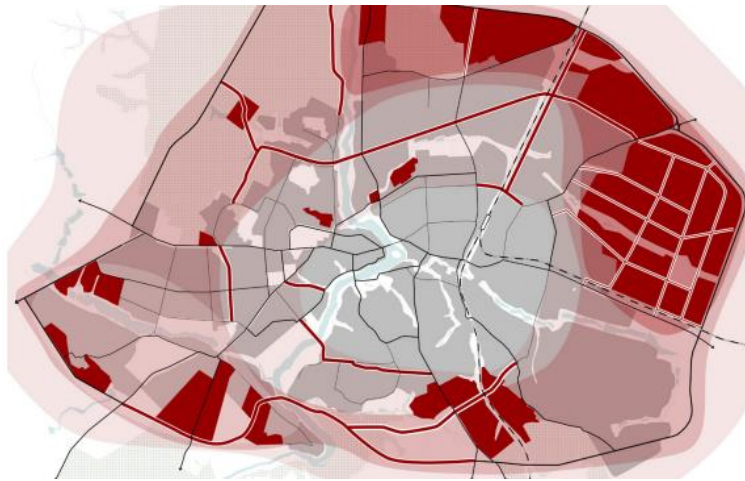


Рис. 3. Модель децентралізованого «Місто-кільце» – розвиток територій і транспортної мережі згідно зі Стратегії міста Вінниця [2]

Важливим напрямом удосконалення транспортної системи є інтеграція трамвайних і тролейбусних маршрутів у структуру нового мосту, що дозволить створити багатофункціональну транспортну артерію з підвищеною пропускну здатністю. Такі рішення відповідають європейським підходам до розвитку сталої мобільності, які передбачають пріоритет екологічного транспорту, зниження рівня заторів і підвищення якості міського середовища [3], [4].

Окремої уваги заслуговує стан мостів України загалом. Згідно з аналітичним дослідженням *Vision Zero Ukraine* «Мости в Україні: криза, проблеми, рішення» [4], понад 60 % мостових споруд в Україні експлуатуються понад 50 років, а понад 30 % потребують капітального ремонту або повної реконструкції. Така тенденція характерна і для Вінниці – навіть після проведених ремонтів мости залишаються перевантаженими та не відповідають сучасним вимогам безпеки і пропускну здатності. Водночас, у матеріалах *Vision Zero* [3] зазначається, що модернізація міського електротранспорту (трамваїв і тролейбусів) є невіддільною складовою розвитку транспортної інфраструктури, оскільки саме цей вид транспорту має найвищий екологічний потенціал і може стати основою сталих міських перевезень.

Враховуючи це, аргументованим є розгляд будівництва нового мосту між районами «Урожай» і «Старе місто», що має стратегічне значення для розвантаження центральних транспортних вузлів та підвищення ефективності громадського транспорту. Інтеграція

трамвайних і тролейбусних маршрутів у конструкцію нового мосту дозволить створити багатофункціональну транспортну артерію з виділеними смугами для електротранспорту, пішоходів і велосипедистів. Таке рішення відповідатиме принципам сталого міського розвитку, сприятиме зниженню викидів, скороченню заторів і формуванню сучасної системи міської мобільності [3], [4], [6].

Таким чином, у статті буде розглянуто аналітичне обґрунтування ефективності будівництва нового мостового переходу між районами «Урожай» – «Старе місто» з урахуванням пропускної здатності, екологічних показників, перспектив інтеграції громадського електротранспорту та оптимізації транспортних потоків міста Вінниці [5], [6].

Мета і завдання статті

Метою роботи є дослідження сучасного стану та перспектив розвитку міських транспортних засобів і шляхів сполучення в місті Вінниця, а також визначення основних проблем розвитку транспортної інфраструктури. Розроблення рекомендацій щодо підвищення мобільності населення, оптимізації транспортних потоків, визначення перспективних напрямів розвитку мостової та вулично-дорожньої мережі, а також зниження екологічного навантаження і підвищення ефективності управління міським транспортом.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан транспортної мережі та мостових переходів через річку Південний Буг міста Вінниця, визначити їх пропускну здатність і основні обмеження функціонування.
2. Визначити основні чинники, що впливають на ефективність міського транспорту, та окреслити напрями оптимізації транспортних потоків.
3. Проаналізувати досвід українських та зарубіжних міст щодо проектування комбінованих транспортних споруд (мости, естакади), що поєднують різні види транспорту (автомобільний, трамвайний і тролейбусний рух), а також оцінити можливості впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) для підвищення ефективності управління рухом і громадським транспортом.
4. Розробити концептуальні рекомендації щодо удосконалення транспортних розв'язок, мостових споруд та вулично-дорожньої інфраструктури міста Вінниця з урахуванням розвитку велосипедного і пішохідного руху.
5. Надати пропозиції щодо застосування сучасних цифрових технологій (геоінформаційних систем, транспортного моделювання, симуляційних моделей) для прогнозування пропускної здатності транспортної мережі та обґрунтувати економічну й екологічну доцільність запропонованих заходів.

Аналіз результатів останніх досліджень та публікацій

Проблематика розвитку транспортної інфраструктури міст України, зокрема мостових переходів, упродовж останніх років активно висвітлюється у наукових і галузевих публікаціях. Аналіз показує, що аварійний та старіючий фонд мостів є системним явищем для всієї держави, яке потребує пріоритетного включення до місцевих стратегій розвитку [1], [2]. За даними порталу visionzero.org.ua, значна частина міських мостів функціонує з перевищенням проектного строку експлуатації, а фінансування програм капітального ремонту залишається недостатнім.

Останні публікації та аналітичні дослідження свідчать про наявність системних проблем у стані мостової інфраструктури України та необхідність комплексного підходу до її відновлення і модернізації. Аналітичний звіт *Vision Zero Ukraine «Bridges in Ukraine: Crisis, Problems, Solutions»* підкреслює, що значна частина мостів в Україні була збудована у 1950 – 1960-х роках XX століття, багато споруд експлуатується понад проектний термін, а відновлювальні заходи мають фрагментарний характер – що створює як технічні, так і організаційні ризики для безпеки та пропускної здатності мережі [4].

У міському контексті Вінниці ці загальнонаціональні тенденції також проявляються у вигляді підвищеного навантаження на наявні мостові переходи – Центральний, Київський та Староміський мости працюють в умовах близьких до граничної пропускної спроможності, що підтверджується як місцевими стратегічними документами, так і публічними дискусіями щодо необхідності будівництва додаткових переправ (зокрема, у публікації медіа та у Стратегії міського транспорту Вінниці). Це підсилює аргументи на користь розгляду будівництва нових мостів та перегляду підходів до розподілу потоків у межах міста [2].

Другий важливий вектор досліджень пов'язаний із розвитком електричного громадського транспорту (трамвай, тролейбус) як кістяка сталої мобільності міст. Оцінки та порівняльні дослідження нормативно-технічної бази показують, що в Україні існують розриви у стандартах і практиках проєктування електротранспортної інфраструктури порівняно з кращими європейськими практиками; це стосується ширин колій, вимог до виділених смуг, організації контактної мережі тощо. *Vision Zero* у своїх публікаціях акцентує на необхідності реформування технічних регламентів та імплементації європейських стандартів для підвищення ефективності і безпеки електротранспорту [3].

Практичні наслідки невідповідності стандартам добре ілюструє проблема низької середньої швидкості трамваїв у багатьох українських містах (орієнтовно ~13 – 14 км/год у ряді міст), що зумовлено як конфігурацією мережі, так і відсутністю пріоритету для громадського транспорту в організації руху. Це знижує привабливість трамвая як альтернативи приватному автомобілю і, відповідно, посилює навантаження на мостові артерії [7].

Окремим важливим фактором є контекст відновлювального планування в умовах воєнного стану та демографічних змін. Ряд міжнародних і національних оглядів (зокрема дослідження, присвячені відбудові транспортної інфраструктури України) вказують на суттєве зростання витрат на відновлення інфраструктури та потребу в системному підході при відновленні або будівництві, що включає адаптацію мостів до сучасних навантажень та інтеграцію стійких видів транспорту у проєктні рішення. Такий підхід є релевантним і для Вінниці, де зростання населення та зміни в структурі поїздки (2022 – 2025 рр.) підсилюють потребу в проактивному плануванні [8].

Проблематика транспортних перевантажень, недостатньої пропускної здатності мостів та вулично-дорожньої мережі в умовах зростаючої урбанізації розглядається в ряді сучасних українських і зарубіжних досліджень. У науковій статті Хорошої О., Субін-Кожевникової А. та Данильчук А. (2023) [9] здійснено комплексний аналіз урбанізаційних процесів та шляхів вирішення регіональних транспортних проблем. Автори наголошують, що стрімкий розвиток міст без належного планування транспортної інфраструктури призводить до дисбалансу між інтенсивністю руху та пропускною спроможністю магістралей.

Зазначено, що основним наслідком цього є зниження мобільності населення, збільшення часу у дорозі та економічні втрати через транспортні затори. У дослідженні акцентовано увагу на необхідності інтеграції різних видів транспорту, розвитку мультимодальних вузлів і врахування екологічного фактору під час проєктування нових транспортних артерій. Ці положення мають безпосереднє відношення до міста Вінниця, де мостові переходи фактично визначають ритм і ефективність міської транспортної системи.

З точки зору екологічних наслідків транспортних перевантажень, у монографії О. І. Лежневої та співавторів (2017) [10] підкреслено, що забруднення атмосферного повітря транспортом у великих містах є одним із ключових чинників погіршення здоров'я населення. Автори відзначають, що у разі транспортних заторів рівень викидів CO, NO₂ та твердих часток (PM₁₀, PM_{2.5}) у місцях скупчення транспорту зростає у 4 – 6 разів порівняно з нормою. Це створює локальні осередки високої концентрації токсичних речовин, які впливають на серцево-судинну та дихальну системи мешканців міст.

Таким чином, неефективна транспортна інфраструктура – це не лише економічна, а й екологічна загроза, що потребує системного підходу до оптимізації руху, розвитку громадського електротранспорту та підвищення пропускної здатності мостів.

У цьому контексті важливим науковим підґрунтям є дисертаційна робота І. А. Виговської (2024) [11], у якій запропоновано удосконалений метод управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг на основі системного аналізу просторово-часових характеристик руху. Авторка довела ефективність використання інтелектуальних транспортних систем (ІТС) для підвищення пропускної здатності міських магістралей і зменшення заторів.

Застосування подібних підходів є актуальним для Вінниці, де наявні мости працюють на межі своєї пропускної спроможності, а перенаправлення транспортних потоків через нові мостові переходи потребує математичного моделювання.

Останні наукові праці у сфері міського транспорту та інфраструктури свідчать про зростання ролі інтелектуальних транспортних систем (ІТС) у забезпеченні ефективного управління потоками та зниженні заторів у великих містах. Зокрема, Ключев С. О., Сігонін А. Є. та Цимбал С. В. (2024) [12] у своїй статті *«Розвиток інтелектуальних транспортних систем»* підкреслюють, що ІТС є ключовим інструментом формування сталої міської мобільності та безпечного транспортного середовища. Автори акцентують на важливості впровадження цифрових технологій, таких як автоматизовані системи моніторингу дорожнього руху, управління світлофорними об'єктами в режимі реального часу, а також аналітичних платформ для прогнозування транспортних потоків. Такі рішення, як зазначають дослідники, дозволяють суттєво підвищити пропускну здатність магістралей і мостів, зменшити кількість заторів та рівень викидів в атмосферу.

Результати роботи С. О. Ключева та співавторів особливо актуальні для міста Вінниця, де проблема перевантаження транспортних вузлів набуває стратегічного значення. Впровадження ІТС у поєднанні з будівництвом нових інфраструктурних об'єктів, зокрема мостів, може забезпечити якісно новий рівень організації дорожнього руху та сталого розвитку міського середовища. Таким чином, розвиток цифрової транспортної інфраструктури має розглядатися не окремо, а в комплексі з фізичними рішеннями – новими мостовими переходами, розв'язками та оновленням електротранспортної мережі.

Попередні дослідження авторів Митка М. В., Бурлака С. А., Бондара А. В. (2025) [6] були присвячені вивченню сучасного стану та перспектив розвитку транспортних засобів і шляхів сполучення у міській інфраструктурі Вінниці з розробкою рекомендацій щодо зменшення завантаження доріг. У цій роботі було проведено порівняльний аналіз основних транспортних артерій міста, видів міського транспорту та інтенсивності руху в центральних і периферійних районах. Особливу увагу приділено проблемі нерівномірного розподілу транспортних потоків та зростанню заторів у години пік, що суттєво знижує ефективність функціонування міської транспортної системи.

На основі даних спостережень, а також статистичних показників, автори здійснили побудову графіків завантаження магістралей, які ілюструють динаміку зміни транспортних потоків упродовж доби та тижня. Отримані результати показали перевантаження окремих ділянок мостових переходів і магістралей, що з'єднують місто та центральну частину Вінниці. Ці графічні матеріали стали важливим доказом на користь необхідності розробки комплексної програми оптимізації руху, а також будівництва нового мостового переходу.

Крім того, у зазначеній роботі було запропоновано рекомендації щодо інтеграції різних видів транспорту (автомобільного, трамвайного, тролейбусного) у єдину транспортну систему, що відповідає сучасним концепціям сталої мобільності. Було наголошено на доцільності впровадження “зелених” технологій, розвитку електротранспорту, розширення мережі громадських маршрутів та використання інтелектуальних систем керування рухом.

Таким чином, проведене дослідження заклало основу для подальшого поглибленого аналізу технічного стану міських транспортних споруд, зокрема мостів, і розробки концепції створення нової транспортної артерії, яка б забезпечила підвищення пропускної здатності та зменшення екологічного навантаження на міське середовище.

Такі дослідження створюють наукову базу для розробки комплексних моделей управління міськими потоками, які можуть бути застосовані при плануванні нових мостів у Вінниці з урахуванням транспортних, соціальних і екологічних факторів.

Отже, аналіз сучасних джерел показує, що питання розвитку мостових переходів у структурі міської транспортної системи є не лише технічним, а й містоутворюючим і соціально-екологічним завданням. Вирішення цієї проблеми передбачає комплексний підхід – поєднання інженерного проектування, транспортного моделювання, екологічного моніторингу та стратегічного міського планування.

Результати досліджень

Для отримання сучасних результатів у ході цього дослідження транспортної системи міста Вінниці було проведено аналіз просторових даних, статистики руху транспортних засобів та результатів моделювання. Основну увагу приділено вивченню пропускної спроможності магістралей, рівня завантаженості дорожньої мережі у години пік та виявленню ділянок із підвищеним ризиком заторів.

Отримані результати підтвердили попередні висновки авторів Митка М. В., Бурлака С. А., Бондара А. В. (2025) [6] про те, що одним із найбільш проблемних напрямків є транспортний зв'язок між вулицями (Київська, Хмельницьке Шосе, Князів Коріатовичів, Пирогова, і трохи менше завантаження Радіона Скалецького), що знаходиться міжрайонами «Урожай» та «Старе місто». Потрібно зазначити, що автори зазначають пікове завантаження по вулиці Князів Коріатовичів [6]. Тому у цьому секторі спостерігається перевантаження основних магістралей, що суттєво знижує швидкість руху громадського транспорту, створює заторні зони та підвищує рівень шумового й повітряного забруднення.

З метою підвищення пропускної спроможності та покращення транспортного сполучення було запропоновано низку інженерно-планувальних рішень, зокрема варіанти будівництва нового мосту через річку Південний Буг, який забезпечить додатковий зв'язок між південними та західно-центральною і північними районами міста.

Беручи до уваги закордонний досвід проектування транспортних переходів та мостових споруд, було виконано порівняльний аналіз можливих схем мостових конструкцій, які можуть бути адаптовані до умов міста Вінниці. На основі цього аналізу розроблено кілька варіантів мостових переходів, що різняться за кількістю смуг руху, конструкцією опор, організацією пішохідно-велосипедних зон та інтеграцією громадського транспорту.

Такі варіанти є рекомендаційними для попереднього етапу планування і можуть слугувати орієнтиром під час подальшого розроблення проектної документації. На рис. 4, 5 та 6 наведено приклади можливих інженерних рішень мостових споруд, адаптованих до геометрії заплави річки Південний Буг, із використанням сучасних підходів до організації руху [13], [14].

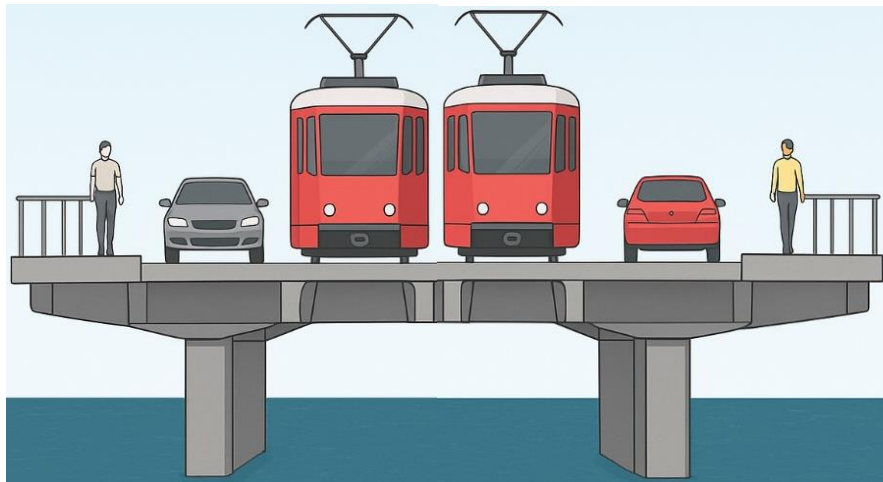


Рис. 4. Схема варіанту №1 мосту, який пропонується для будівництва через річку Південний Буг (між районами «Урожай» і «Старе місто») м. Вінниця



Рис. 5. Схема варіанту №2 мосту, який пропонується для будівництва через річку Південний Буг (між районами «Урожай» і «Старе місто») м. Вінниця [13]



Рис. 6. Схема варіанту №3 мосту, який пропонується для будівництва через річку Південний Буг (між районами «Урожай» і «Старе місто») м. Вінниця [14]

Кожен із запропонованих варіантів відрізняється конструкцією опор, кількістю смуг руху та можливістю інтеграції велоінфраструктури.

На рис. 7 наведено перспективний варіант мосту з розширенням до трьох смуг руху в кожному напрямку[15]. Такий підхід дозволяє передбачити резерв транспортної пропускної здатності на випадок подальшого зростання інтенсивності руху. Окрім того, передбачено виділені смуги для велосипедистів та автобусно-трамвайні коридори.

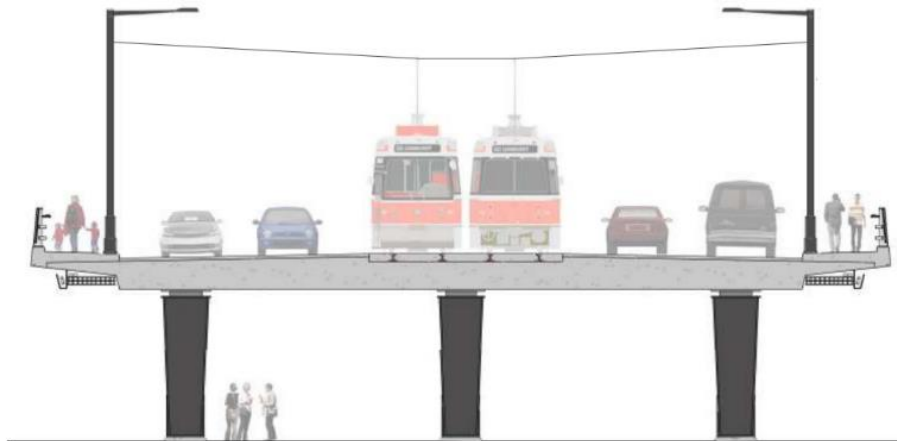


Рис. 7. Схема варіанту №4 мосту, який пропонується для будівництва через річку Південний Буг (між районами «Урожай» і «Старе місто») м. Вінниця [15]

Для покращення транспортних потоків пропонується розширити зони в'їзду та з'їзду з мосту, забезпечивши плавні переходи з урахуванням просторових можливостей навколишніх вулиць.

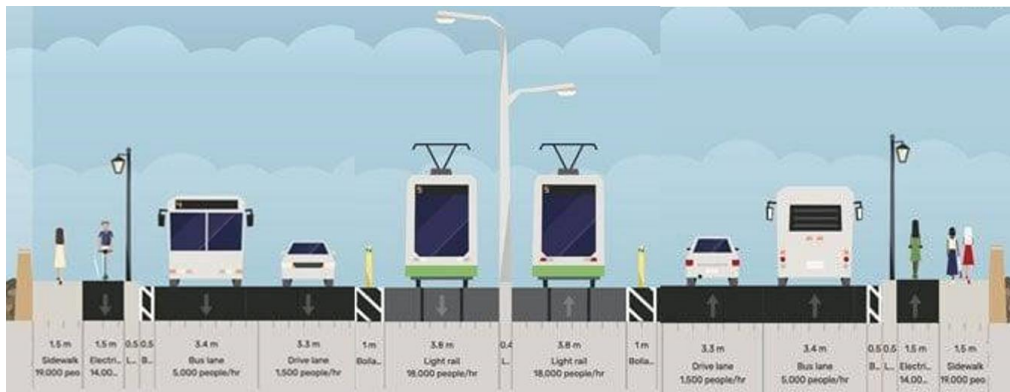


Рис. 8. Схема плавного переходу поперечного профілю вулиці з мостучерез річку Південний Буг[16]

На рис. 8 – 9 наведено варіанти поперечних профілів вулиць, адаптованих до умов ділянок вулиці Радіона Скалецького та вулиці Нагірної. Основою для розроблення рекомендацій слугували пропозиції київського урбаніста Іллі Царенка [16], а також приклади реконструкції транспортних коридорів у Львові (2018 р.) [17].

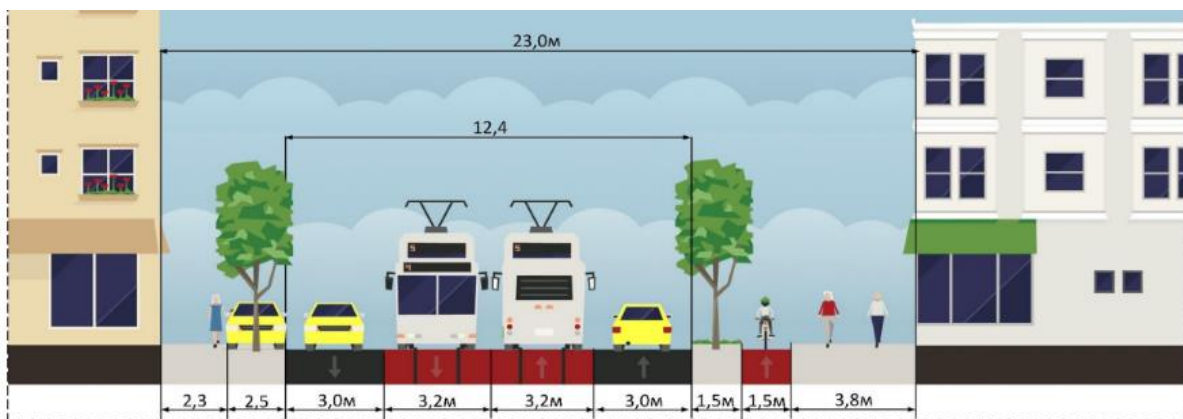


Рис. 9. Схема поперечного профілю вулиці, що пропонується для Радіона Скалецького та Нагірної [17]

Як видно з рис. 9, запропонована схема має комбінований характер, оскільки передбачає спільне використання дорожнього простору трамваями, автобусами, тролейбусами з автономним ходом та індивідуальним автомобільним транспортом. Такий підхід дає змогу ефективно організувати рух на вулицях із обмеженою шириною проїзної частини, забезпечуючи пріоритет громадського транспорту та оптимальну пропускну спроможність.

Подібні рішення впроваджено у Києві [16] та Львові [17], де вони продемонстрували зниження рівня заторів і підвищення швидкості перевезень. Враховуючи позитивний досвід, доцільно застосувати аналогічну схему під час проєктування вулиць Радіона Скалецького та Нагірної у місті Вінниці, що сприятиме інтеграції громадського транспорту в єдину транспортну систему міста.

Запропоновані рішення також передбачають поєднання руху громадського транспорту (трамвай, тролейбус з автономним ходом) із загальним автомобільним потоком, одночасно забезпечуючи комфортні умови для пішоходів та велосипедистів.

Крім того, важливим елементом є інтеграція велосипедної інфраструктури – поєднання автомобільних проїзних частин із велосипедними доріжками, що підвищує рівень безпеки та зручність пересування всіх учасників дорожнього руху. Приклад подібної організації

наведено на рис. 10, який демонструє можливе розташування смуг руху з урахуванням потреб велосипедистів та пішоходів.

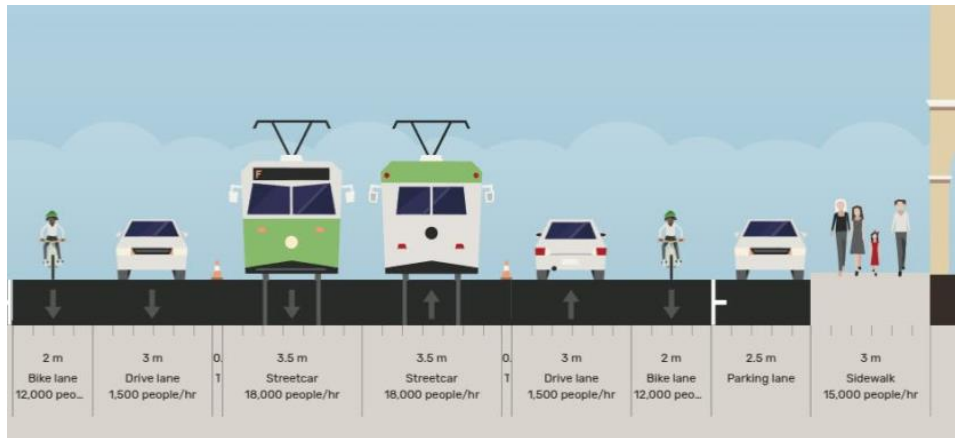


Рис. 10. Схема поперечного профілю вулиці, яка пропонується для використання на вулицях Радіона Скалецького та Нагірна під час їх реконструкції або будівництва, із урахуванням велосипедних доріжок (між районами «Урожай» і «Старе місто») м. Вінниця [18].

На рис. 10 зображено структуру смуг руху, включаючи окремі велосипедні та пішохідні зони, що сприяє підвищенню безпеки руху та екологічній мобільності.

Подальший розвиток транспортної інфраструктури міста Вінниця передбачає модернізацію вулично-дорожньої мережі, вдосконалення організації руху та створення комфортних умов для всіх учасників дорожнього руху. Одним із ключових напрямів удосконалення транспортної системи є оптимізація організації руху на найбільш завантажених перехрестях міста.

Перспективним прикладом є проектування перехрестя вулиць Радіона Скалецького – Князів Коріатовичів – Зодчих, схема якого наведена на рис. 11 [18].

Особливої уваги потребує організація пішохідних переходів у зонах транспортних розв'язок. Рекомендується використання підвищених пішохідних переходів або островців безпеки у центральній частині проїзної частини (як показано на рис. 11). Такі рішення відповідають європейським принципам «Vision Zero», підвищують рівень безпеки пішоходів і скорочують час їхнього очікування.



Рис. 11. Схема перспективного варіанту організації перехрестя вулиць Радіона Скалецького – Князів Коріатовичів – Зодчих, рекомендована для використання під час проектування [19].

Організація зупинкових майданчиків у центральній частині проїзної частини є перспективним рішенням для оптимізації руху громадського транспорту. Такий формат дозволяє пасажиром зручно очікувати транспорт безпосередньо біля трамвайних колій, скорочує час пересадки між видами транспорту та підвищує безпеку пішоходів.

Запропоноване рішення може бути використане як приклад сучасного інтегрованого транспортного вузла, орієнтованого на громадський транспорт і комфорт користувачів [19].

На рис. 12 представлено можливий варіант архітектурно-планувального вигляду вулиць із застосуванням зазначеної схеми, що демонструє перспективи формування гармонійного міського простору для всіх учасників дорожнього руху.



Рис. 12. Схема варіанту просторової організації вулиць Радіона Скалецького – Нагірна, як приклад рекомендаційного рішення перед проектуванням [19].

Схеми варіантів (рис. 11 та 12) показує можливе поєднання елементів громадського транспорту, велосипедних та пішохідних зон, що може бути реалізовано під час реконструкції вулиць із метою підвищення мобільності мешканців.

Математичне моделювання пропускної спроможності мостів

Для оцінки ефективності транспортної системи використано аналітичний підхід до розрахунку пропускної здатності мостових споруд.

Функція для визначення математичної моделі пропускної здатності мосту має вигляд [20]:

1.1. Формула для розрахунку математичної моделі пропускної здатності мосту Q :

$$Q = n \cdot q, \quad (1)$$

де: Q – пропускна здатність моста (авт/год); n – кількість смуг руху; q – інтенсивність руху на одну смугу (авт/год/смуг).

З урахуванням додаткових коефіцієнтів розрахунок може бути уточнений за формулою (2).

1.2. Формула для розрахунку урахування додаткових коефіцієнтів [20]:

$$Q_{\text{коэф}} = n \cdot q_0 \cdot k_p \cdot k_f, \quad (2)$$

де: q_0 – базова інтенсивність потоку (наприклад, 1800 авт/год); k_p – коефіцієнт, що враховує тип транспортного потоку (0,8 – 1,0); k_f – коефіцієнт умов руху (0,7 – 1,0).

Таблиця 1

Порівняльна характеристика варіантів мостів [20]

№ варіанту	Кількість смуг	Наявність велодоріжок	Пропускна спроможність (авт/год)	Орієнтовна ширина (м)	Примітки
1	2×2	ні	7200	21	Базовий варіант
2	3×3	так	10800	28	Рекомендований
3	3×3 + трамвай	так	9500 (авто) + 2000 (пас/год трамвай)	32	Перспективний
4	3×3 розширений	так	11000	34	При наявності додаткових коштів

Як видно з таблиці 1, найоптимальнішим рішенням з точки зору пропускної спроможності, функціональності та безпеки руху є варіант № 3, який передбачає поєднання трамвайного руху з автомобільними потоками та наявність велодоріжок. Така структура сприяє розвитку екологічно чистого транспорту, зменшує затори та забезпечує збалансоване використання міської інфраструктури [15].

Варіант № 4 може бути реалізований за умови додаткового фінансування, однак базовим і рекомендованим для проектування вулиць у м. Вінниця вважається комбінований варіант [15], [16], [17].

Варто зазначити, що найбільш екологічно чистими видами транспорту є тролейбус та електробус, тоді як легковий автомобіль характеризується низькою ефективністю використання енергії та високим рівнем впливу на довкілля [6], [21], [22], [23].

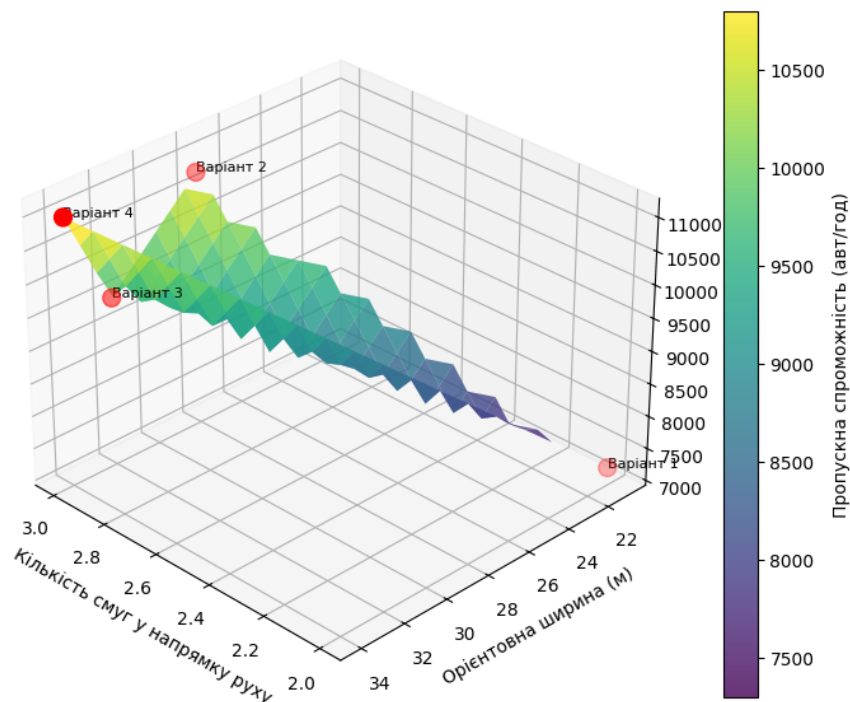


Рис. 13. Графік залежності пропускної спроможності вулиці від кількості смуг у напрямку руху.

Графік (рис. 13) показує залежність середньої пропускної спроможності дороги (авт/год) від кількості смуг у напрямку руху.

Збільшення кількості смуг понад три не призводить до пропорційного зростання пропускної здатності через вплив заторів і перетинів транспортних потоків.

На графіку (рис. 14) показано, що впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) – таких як адаптивне керування світлофорами або пріоритет громадськоготранспорту – підвищує середню швидкість руху на 15 – 25 %, зменшує затримки та покращує регулярність перевезень [3], [4], [11], [12].

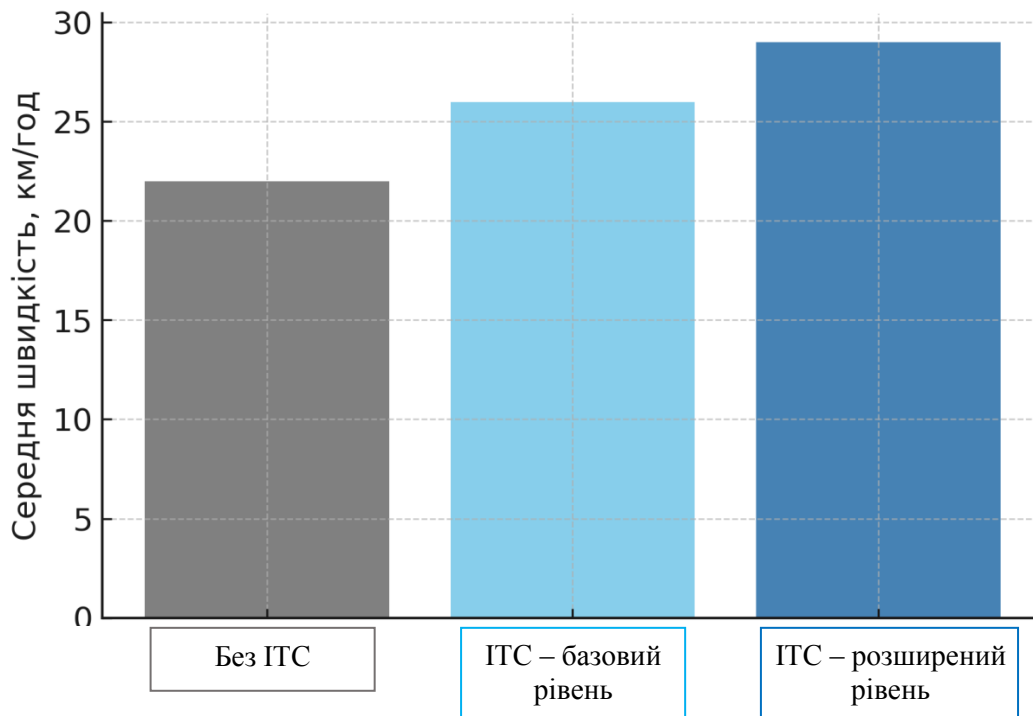


Рис. 14. Графік впливу впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) на середню швидкістьруху.

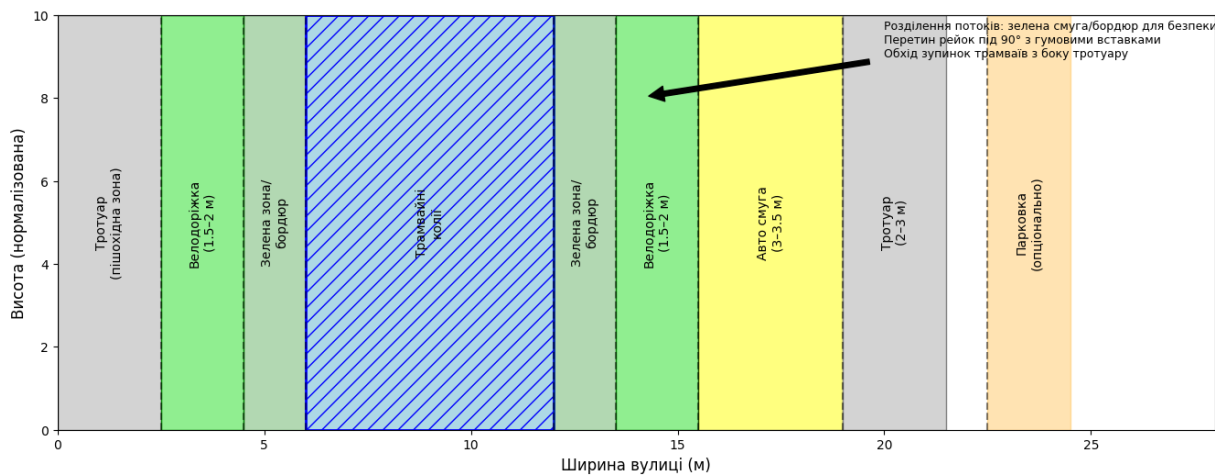


Рис. 15. Схема інтеграції велосипедної та трамвайної інфраструктури

На рис. 15 наведено схему інтеграції велосипедної доріжки поруч із трамвайною колією або спільно на вулиці змішаного типу (як у Львові, Києві або закордоном).

Передбачено розділення потоків за допомогою зеленої смуги або бордюру, що забезпечує безпечний і зручний рух велосипедистів поруч із колією трамвая.

Отримані результати підтверджують, що інтегроване використання мостових переходів, багаторівневих перехресть та комбінованих профілів вулиць дозволяє підвищити ефективність транспортної системи міста Вінниця, скоротити час у дорозі, зменшити затори та покращити екологічний стан довкілля.

Висновки

У цій статті проведено комплексний аналіз транспортної інфраструктури м. Вінниця з урахуванням технічних, екологічних та організаційних показників. Використання елементів математичного моделювання та аналізу картографічних даних дозволило оцінити пропускну здатність транспортної мережі для різних видів транспорту, а також визначити ключові проблемні ділянки.

1. Аналіз транспортної системи міста показав, що основні мостові переходи та транспортні артерії працюють із перевантаженням, що призводить до зниження середньої швидкості руху та підвищення рівня заторів. Значна частина мостового фонду була споруджена кілька десятиліть тому, і на сьогодні не відповідає вимогам інтенсивного міського трафіку, а також потребує модернізації та включення нових об'єктів (зокрема, мосту в напрямку «Урожай» – «Старе місто») до стратегічних планів розвитку міста.

2. Оптимізація організації дорожнього руху передбачає інтеграцію громадського транспорту, велосипедної інфраструктури та інтелектуальних транспортних систем (ІТС) у єдиний міський простір. Це забезпечить підвищення мобільності населення, скорочення затримок і покращення якості транспортного обслуговування.

3. Впровадження інтелектуальних транспортних систем, таких як адаптивне регулювання руху, “розумні” світлофори та система пріоритету для трамваїв і тролейбусів, дозволяє підвищити середню швидкість руху транспорту на 15 – 25 %, зменшити затори та покращити регулярність перевезень.

4. Запропоновані схеми поперечних профілів вулиць (зокрема, Радіона Скалецького – Нагірна) є технічно обґрунтованими і відповідають принципам сучасного міського планування. Вони сприяють створенню комфортного середовища для громадського транспорту, велосипедистів і пішоходів та зниженню екологічного навантаження.

5. Рекомендовано виконати подальші дослідження доцільно спрямувати на кількісне моделювання транспортних потоків із використанням сучасного програмного забезпечення, такого як PTV Vissim і PTV Visum, для оцінки економічної доцільності нових мостів і перехресть, а також визначення екологічного ефекту від зменшення інтенсивності автомобільного руху.

Таким чином, результати дослідження свідчать, що реалізація запропонованих заходів дозволить підвищити ефективність транспортної системи м. Вінниця, скоротити час у дорозі, зменшити затори та негативний вплив транспорту на довкілля. Запропоновані рекомендації можуть бути використані для стратегічного планування розвитку міського транспорту та створення збалансованої мобільності населення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Pavlovsky V. Співчуваю жителям Старого міста», або Чи потрібні Вінниці нові мости? 2021. URL: <https://vn.20minut.ua/transport/spivchuvayu-zhitelyam-starogo-mista-abo-chi-potribni-vinnitsi-novi-mos-11444527.html>.
2. Комплексна стратегія міського транспорту і просторового розвитку: Вінницька міська рада Департамент архітектури, містобудування та кадастру. Березень 2015 р. 110 с. URL: <https://2021.vmr.gov.ua/ContentLibrary/Стратегія%20транспорту.pdf>.
3. Vision Zero Ukraine Порівняльний аналіз норм щодо трамваїв і тролейбусів в Україні та ЄС. 2025. URL: <https://visionzero.org.ua/tag/analitika/>.
4. Vision Zero Ukraine Policy Paper: *Мости в Україні: криза, проблеми, рішення*. 2025. URL: <https://visionzero.org.ua/policy-paper-bridges-in-ukraine/>.
5. Сучасний розвиток міст в Україні: приклад Вінниця. URL: <https://mistosite.org.ua/articles/suchasnyi-rozvytok-mist-v-ukraini-pryklad-vinnytsi?locale>.
6. Митко М. В., Бурлака С. А., Бондар А. В. Сучасний стан та перспективи розвитку транспортних засобів і шляхів сполучення в міській інфраструктурі Вінниця з розробкою рекомендацій щодо зменшення завантаження доріг. *Наукові праці ВНТУ*. 2025. №3. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/869>.
7. Швидкість трамваїв в українських містах не відповідає державним стандартам. URL: <https://enecities.org.ua/en/news/tram-speeds-in-ukrainian-cities-do-not-meet-state-standards/>.
8. Building back better: Ukraine's transport infrastructure. URL: <https://www.transportenvironment>.

[org/uploads/files/BBB_UA_lessons-2.pdf?utm_source=](https://www.bbb.org/uploads/files/BBB_UA_lessons-2.pdf?utm_source=)

9. Хороша О., Субін-Кожевникова А., Данильчук А. Урбанізаційні процеси: шляхи вирішення регіональних транспортних проблем. *Сучасні технології в будівництві. Серія: Будівництво*. 2023. Т. 34, №1. С. 107–114.
10. Екологічні аспекти транспортної системи міста: монографія / Лежнёва О. І. та ін. Харків: Зебра, 2017. 180 с.
11. Виговська І. А. Удосконалення методу управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Київ, 2024. 187 с.
12. Клюев С. О., Сігонін А. Є., Цимбал С. В. Розвиток інтелектуальних транспортних систем. *ВМТ*. 2024. Том. 18, № 2. С. 80–86.
13. Алюмінієві екструдовані профілі для алюмінієвих мостів. URL: <https://www.chalcoaluminum.com/uk/knowledge/aluminum-bridge-profile/>.
14. First Super-T girder lifted into place on Coffs Harbour Bypass. URL: <https://bigrigs.com.au/2024/05/20/first-super-t-girder-lifted-into-place-on-coffs-harbour-bypass/>.
15. Bathurst Bridge Replacement Design Concept Design Review Panel Submission City of Toronto 12 June 2008. URL: <https://stevemunro.ca/wp-content/uploads/2008/07/bathurstbridgedr.pdf>.
16. Мешканець Києва Ілля Царенко пропонує в рамках реконструкції провести трамвайну колію мостом Патона. URL: https://kiev.vgorode.ua/news/transport_y_ynfrastruktura/a1134198-prjamo-nad-dneprom-kievljanin-predlahaet-provesti-skorostnoj-tramvaja-na-mostu-patona.
17. Проектні пропозиції та результати моделювання щодо варіанту реконструкції вулиці Шевченка на ділянці від вулиці Хорватської до Левандівської. URL: https://city-adm.lviv.ua/lmrdownloads/Шевченка_проектні%20пропозиції_кінцевий%20варіант.pdf.
18. Київські активісти представили альтернативний проєкт реконструкції Глибочицької. Ukr.Net. URL: <https://www.ukr.net/news/details/kyiv/109793832.html>.
19. Surrey light rail by 2024? Transit project timing revealed. URL: <https://www.ctvnews.ca/vancouver/article/surrey-light-rail-by-2024-transit-project-timing-revealed/>.
20. Highway Capacity Manual. 2010. Washington, D. C.: Transportation Research Board, National Research Council, 2010. 4 Volumes. 1475 p. URL: <https://www.jpautoceste.ba/wp-content/uploads/2022/05/Highway-Capacity-Manual-2010-PDFDrive-.pdf>.
21. Митко М., Бурлака С., Ярошук, Р. Аналіз технічних і технологічних форм взаємодії різних видів транспорту. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2025. №349 (2). С. 77–82.
22. Савін Ю. Х., Митко М. В. Сучасні відстані при обслуговуванні та ремонті автомобілів за кооперацією на підприємствах автосервісу. *Вісник Національного транспортного університету*. 2024. № 1. С. 142–153.
23. The impact of fuel costs on the feasibility of cooperation-based operations at auto transport enterprises / Y. Savin et al *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2025. №126. P. 205–220. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2025.126.13>.

Стаття надійшла до редакції 30.10.2025.

Стаття пройшла рецензування 22.12.2025.

Митко Микола Васильович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: mytko@vntu.edu.ua.

Вінницький національний технічний університет.

Бурлака Сергій Андрійович – д-р філос., доцент, доцент кафедри інженерної механіки та технологічних процесів в АПК.

Вінницький національний аграрний університет.