

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

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ І ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ В МІСЬКІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ ВІННИЦІ З РОЗРОБКОЮ РЕКОМЕНДАЦІЙ І ЗАВАНТАЖЕННЯ

У статті розглядається сучасний стан та перспективи розвитку транспортних засобів і шляхів сполучення в міській інфраструктурі на прикладі міста Вінниця. Сучасні міста стикаються з проблемами, пов'язаними з перевантаженням транспортної інфраструктури, що призводить до погіршення екологічного стану, зниження ефективності транспортних перевезень та погіршення якості життя мешканців. В умовах урбанізації та зростаючого населення, міста потребують комплексних рішень для поліпшення транспортної системи.

Вінниця, як середнє за розміром місто України, має важливу транспортну інфраструктуру, яка пов'язує різні райони та місто з іншими регіонами. Однією з ключових проблем є значне навантаження на дорожню мережу, що не завжди відповідає сучасним вимогам безпеки, комфорту та екологічної безпеки. Чимало шляхів потребують ремонту та модернізації, зокрема в частині тротуарів, дорожніх знаків і світлофорних систем. Це стає важливим фактором для підвищення рівня безпеки та зручності для пасажирів і водіїв.

Однак Вінниця є прикладом успішних ініціатив у розвитку міського транспорту, зокрема завдяки впровадженню електричних автобусів і тролейбусів. Ці транспортні засоби не лише зменшують викиди в атмосферу, знижуючи екологічний слід міста, але й сприяють енергозбереженню, знижуючи залежність від традиційних видів пального та витрати на паливо. Перспективи розвитку транспорту в місті передбачають перехід на більш екологічно чисті види транспорту з низьким рівнем викидів, що сприятиме покращенню якості повітря та зменшенню шуму. Вінниця вже є лідером у впровадженні новітніх технологій, таких як гібридні автобуси та системи електричного транспорту, що мають значно вищу енергоефективність порівняно з традиційними транспортними засобами.

Іншим важливим напрямом розвитку є інтеграція новітніх інтелектуальних транспортних систем (ІТС), які здатні оптимізувати рух транспорту, зменшити затори та підвищити ефективність роботи транспортної системи. ІТС включають автоматизоване управління рухом, моніторинг стану доріг у реальному часі та прогнозування трафіку, що допомагає водіям обирати оптимальні маршрути. Водночас для поліпшення транспортної ситуації в місті необхідна реконструкція та розширення наявних доріг, створення нових транспортних коридорів, а також розширення мережі тролейбусних і автобусних маршрутів, що сприятиме розвитку громадського транспорту та підвищить безпеку руху.

Успішний розвиток транспортної інфраструктури Вінниці також потребує залучення інвестицій, що дозволить модернізувати техніку, покращити стан доріг та інші складові транспортної системи. Участь приватних компаній та державних органів у цих процесах сприятиме оптимізації роботи транспорту і покращенню якості послуг для мешканців міста.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на аналіз ефективності реалізованих проєктів, визначення найбільш проблемних ділянок міської інфраструктури та розробку рекомендацій щодо подальшого удосконалення транспортної системи міста Вінниця.

Ключові слова: транспортні засоби, шляхи сполучення, транспортна інфраструктура, безпека руху, стан доріг, інноваційні рішення, інтелектуальні транспортні системи, урбанізація.

Вступ

Міста світу постійно розвиваються, із зростанням чисельності населення, збільшенням кількості автомобілів та інших транспортних засобів, які створюють нові проблеми для ефективного функціонування міської інфраструктури. Проблеми із перевантаженням транспортної мережі, порушенням навколишнього середовища та підвищенням рівня шуму стають серйозними комерційними аспектами, які потребують особливої уваги збоку

місцевих органів влади та громадськості. В умовах постійного урбанізаційного процесу ефективно управління транспортними потоками та розвиток інфраструктури є одними із пріоритетних завдань.

Міста в усьому світі стикаються з проблемами, пов'язаними з урбанізацією, включаючи зростання населення, збільшення транспортних потоків, зношення інфраструктури та погіршення екологічної ситуації. Для ефективного вирішення цих проблем необхідно модернізувати транспортні системи, впроваджувати нові технології та використовувати інноваційні методи в управлінні транспортними потоками. Міста, що активно розвиваються, як, наприклад, Вінниця, знаходяться в центрі цих змін, оскільки вони потребують не тільки вдосконалення старих транспортних засобів і шляхів сполучення, а й інтеграції новітніх технологій для забезпечення сталого розвитку транспортної інфраструктури [1], [2].

Вінниця є одним із яскравих прикладів українських міст, яке активно працює над вирішенням проблем, що забезпечують за рахунок високих навантажень на транспортну мережу, а також намагається впроваджувати інноваційні рішення, такі як електричний транспорт, розумні транспортні системи та сучасні дороги. Згідно з даними місцевих органів влади, місто активно інвестує у розвиток транспортної інфраструктури, намагаючись покращити доступність громадського транспорту та знизити рівень забруднення атмосфери [3], [4]. Ці заходи включають не тільки технічне оновлення транспортних засобів, а й будівництво нових маршрутів, впровадження електронної системи управління рухом.

Особливе значення для дослідження в контексті розвитку міських транспортних засобів і шляхів сполучення має приклад міста Вінниця. Це місто, розташоване в центральній частині України, є економічним і культурним центром, що активно розвиває свою інфраструктуру, зокрема в частині міського транспорту. З огляду на розміри та кількість жителів, Вінниця стикається з типовими для проблем українських міст: затори на дорогах, старіння транспортного парку, незадовільний стан дорожнього покриття та обмежена кількість альтернативних способів пересування. Водночас, місто активно працює над пошуком рішень для покращення транспортної ситуації через інновації, такі як впровадження екологічно чистого транспорту, модернізація наявних шляхів сполучення та будівництво нових маршрутів для громадського транспорту [5].

Враховуючи сучасні тенденції розвитку транспортної інфраструктури, напрямком є інтеграція розумних транспортних технологій та електричних видів транспорту. Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) не дозволяють оптимізувати рух транспорту, покращити безпеку та зменшити затори, а електричні автобуси та тролейбуси сприяють зниженню рівню забруднення навколишнього середовища. Усі ці технології сприяють створенню високостійкої транспортної інфраструктури, яка забезпечує рівень комфорту та ефективності для мешканців міста.

У сучасних умовах велике значення набуває застосування інтелектуальних транспортних систем, які можуть значно підвищити ефективність управління транспортними потоками в умовах міської агломерації. Ці системи здатні оптимізувати рух транспорту, зменшити час затримки міста та забезпечити більш комфортне пересування. ІТС включають технології для автоматизованого управління рухом, моніторингу стану дороги та прогнозування трафіку, що дозволяє зменшити затори та підвищити ефективність роботи транспортної системи [6].

Інвестиції в інфраструктуру, спрямовані на створення нових безпечних і швидких шляхів сполучення, а також важливим аспектом є також впровадження нових технологій, особливо електронних систем управління рухом, які дозволяють покращити організацію транспортного потоку та зробити пересування міста більш ефективним та екологічно чистим, такі ініціативи сприяють розвитку інфраструктури та значно покращують якість життя мешканців міста.

Не менш важливим аспектом розвитку міського транспорту є поліпшення шляхів сполучення та забезпечення безпеки руху. В умовах урбанізації, коли кількість транспортних засобів на вулицях значно зростає, необхідна активна розбудова нових доріг, створення додаткових смуг для громадського транспорту, а також будівництво нових мостів. Ці заходи вимагають значних інвестицій. Вінниця, враховуючи розвиток міської інфраструктури, Наукові праці ВНТУ, 2025, № 3

активно інвестує в ці напрямки для покращення мобільності та забезпечення доступності громадського транспорту для всіх категорій населення [7].

Завдяки ініціативам місцевих органів влади та підтримці громадських організацій Вінниця досягла значного прогресу в розвитку міської транспортної інфраструктури. Наприклад, на вулицях міста активно експлуатуються новітні електричні автобуси та тролейбуси, що сприяє зниженню рівня забруднення повітря та викидів вуглекислого газу в атмосферу. Однак, незважаючи на досягнення, у транспортному секторі все ще існують проблеми, пов'язані з рівнем оплати праці, кількістю робочих місць, застарілим транспортним парком, нестачею паркувальних місць і заторами на дорогах. У зв'язку з цим актуальність дослідження, яке зосереджено на цілеспрямованому розвитку транспортних засобів і шляхів сполучень у місті Вінниця, є надзвичайно важливим.

Дослідження, представлені в цій статті, мають на меті не лише вивчення поточного стану транспорту та інфраструктури міста Вінниця, але й аналіз перспектив розвитку транспортної системи, впровадження нових технологій та підходів до управління транспортними потоками. У статті буде розглядатися як позитивні, так і проблемні аспекти розвитку міської інфраструктури, а також пропонується їх подолання на основі досвіду інших міст та наукових досягнень у галузі транспорту і міського планування.

Можливість інвестування в інфраструктуру міського транспорту, а також впровадження новітніх технологій у сферу екологічно чистих видів транспорту стає все більш очевидною. Таким чином, одна з ключових цілей – перехід до безвуглецевих технологій у громадському транспорті, що сприятиме зменшенню забруднення повітря та підвищенню енергоефективності. Проте, реалізація таких змін потребує не лише технологічних рішень, а й значних фінансових і організаційних зусиль збоку міської адміністрації.

Аналіз стану транспортної системи міста Вінниця та її перспективи розвитку є місцем для визначення напрямків, в яких слід працювати для вдосконалення інфраструктури, зниження негативного впливу транспорту на навколишнє середовище та підвищення якості життя мешканців міста.

Мета і завдання статті

Метою роботи є дослідження стану та перспективи розвитку міських транспортних засобів і шляхів сполучення в місті Вінниця, визначення проблем розвитку транспортної інфраструктури та розробка рекомендацій щодо покращення мобільності, зниження екологічного навантаження та підвищення ефективності управління транспортними потоками.

Аналіз результатів останніх досліджень та публікацій

В останні роки значна увага приділяється вивченню стану та перспектив розвитку міського транспорту, зокрема на прикладі українських міст. Сучасні наукові публікації та дослідження акцентують увагу на різних аспектах транспорту та інфраструктури, таких як екологічні проблеми, оптимізація транспортних потоків, розвиток інтелектуальних транспортних систем та впровадження нових технологій для зменшення негативного впливу транспорту на довкілля.

Одним із важливих напрямків є дослідження інтеграції електричного транспорту в міську інфраструктуру. Згідно з результатами останніх досліджень, використання електричних автобусів та тролейбусів сприяє зменшенню викидів вуглекислого газу, що є суттєвим кроком до покращення екологічної ситуації в місті. А також, роботи дослідників [8], [9], які акцентують на тому, що впровадження таких транспортних засобів дозволяє знизити рівень забруднення атмосферного повітря, що є фактором підвищення якості життя містян.

Також актуальним напрямком є розробка та впровадження інтелектуальних транспортних систем. ІТС дозволяє зменшити затори та оптимізувати рух транспорту за допомогою сучасних технологій управління рухом, таких як автоматизоване управління трафіком, моніторинг стану дороги в реальному часі та система прогнозування трафіку. За результатами досліджень [6], [10] такі системи можуть значно підвищити ефективність

роботи транспортної інфраструктури в умовах зростання населення та збільшення транспортних потоків.

Одним із важливих аспектів дослідження є також аналіз розвитку інфраструктури для велосипедистів та пішоходів. Як показують результати останніх публікацій [8], [11] розвиток велосипедних доріжок і пішохідних зон зменшує навантаження на дорожню мережу, зменшує забруднення повітря та забезпечує загальний рівень комфорту і безпеки для мешканців міста.

Таким чином, результати останніх досліджень свідчать про важливість комплексного підходу до розвитку міського транспорту, який передбачає як впровадження нових технологій, так і модернізацію наявної інфраструктури для забезпечення сталого розвитку міської транспортної системи (рис. 1).

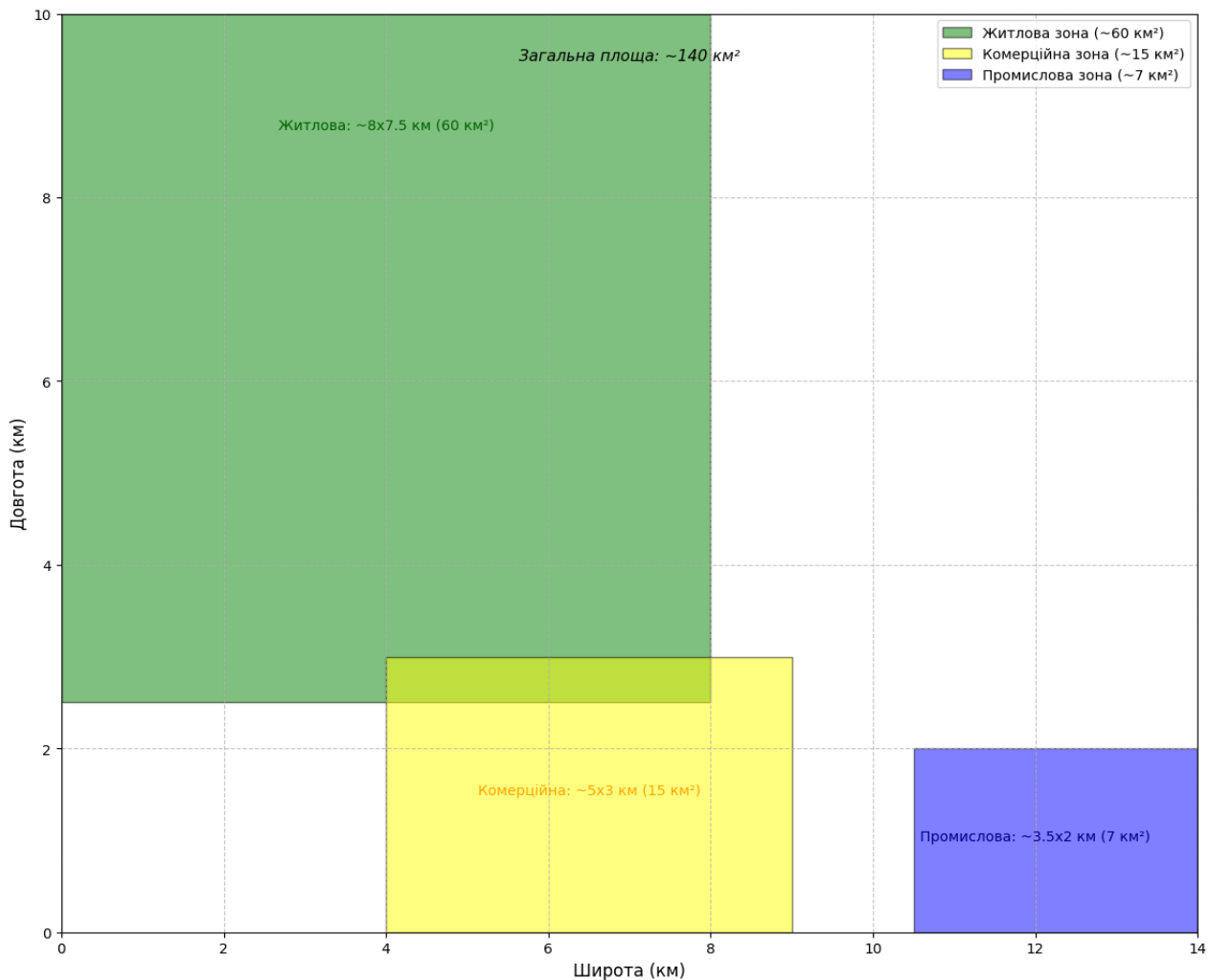


Рис. 1. Схема: наявна міська структура із зонами потенційної трансформації та розвитку (зелена-житлова, жовта-комерція, синя – промислова).

На основі розглянутих карт Вінниці, що показано (рис. 2), де виділені ділянки з заторами (позначені червоним і помаранчевим кольорами), а також (рис. 3) зображено графік середніх рівнів заторів по вулицях Вінниці, можна запропонувати наступні рекомендації для зменшення заторів:

На перехрестях, таких як вул. Соборна та вул. Грушевського, встановити адаптивні світлофорні системи, які регулюють тривалість фаз залежно від потоку автомобілів. Це допоможе зменшити затримки на червоних сигналах.

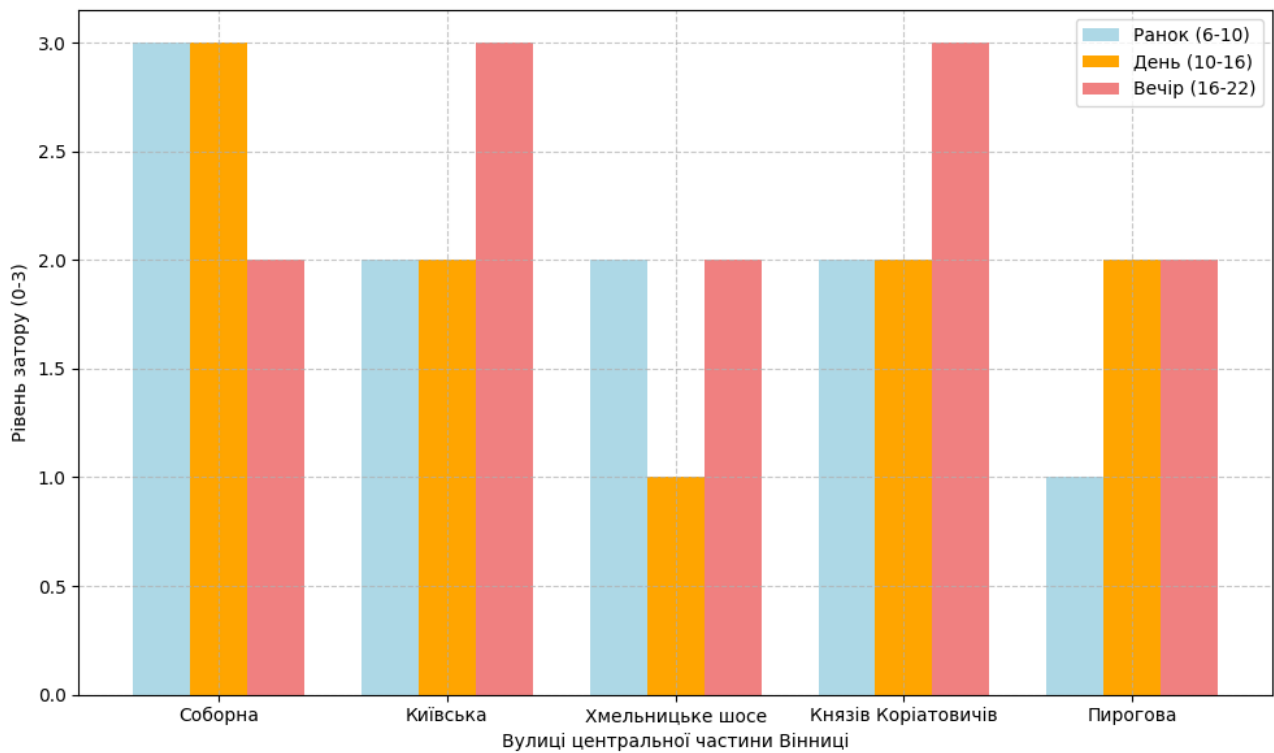


Рис. 2. Гістограма заторів по вулицях Вінниці та часу доби

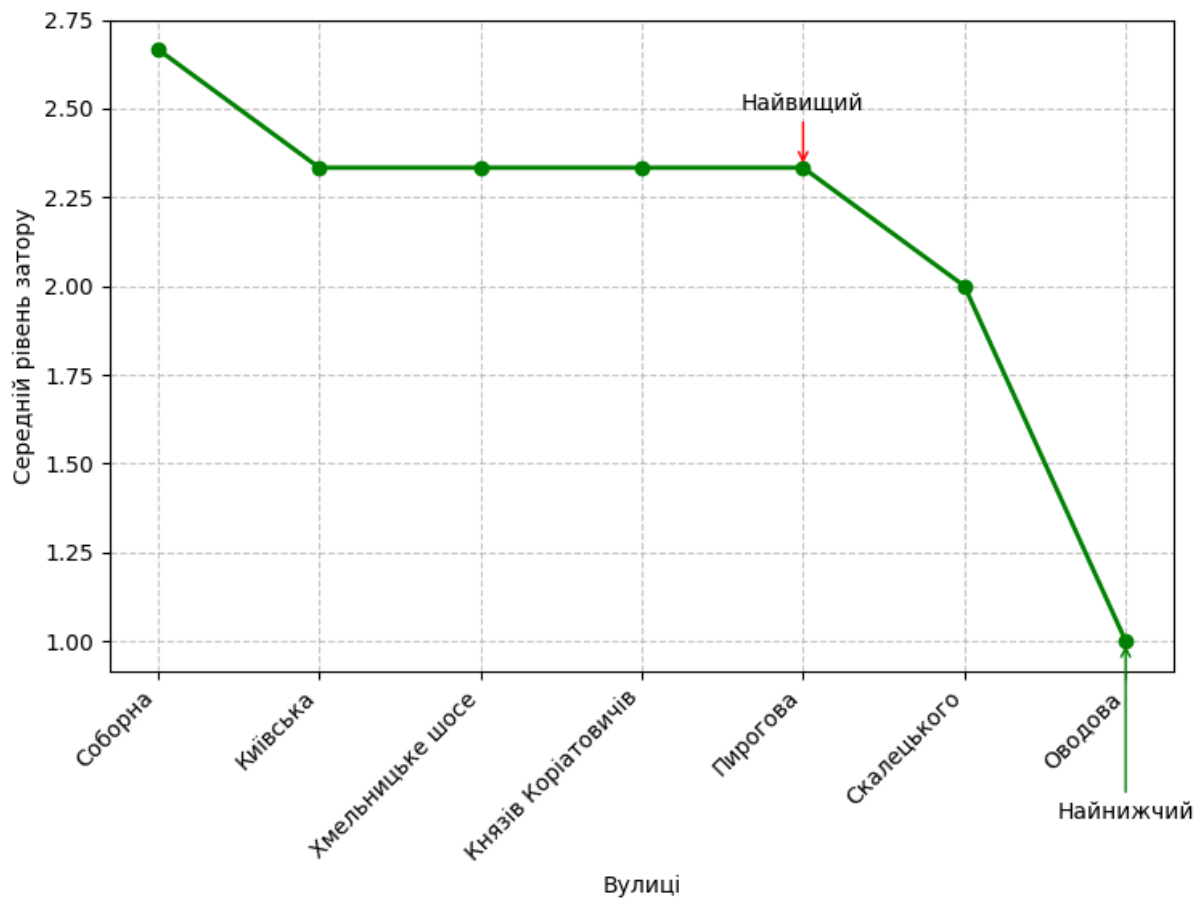


Рис. 3. Графік середніх рівнів заторів по вулицях Вінниці

На вулицях із значним навантаженням, наприклад, вул. Соборна чи вул. Келецька, розглянути можливість введення одностороннього руху для розвантаження трафіку, якщо інфраструктура це дозволяє.

На ділянках вул. Соборна та вул. Грушевського, де затори найбільш помітні, можна додати додаткові смуги для руху або розширити проїжджу частину, якщо це технічно можливо.

Заохочувати використання громадського транспорту (автобуси, тролейбуси) через розширення маршрутів і створення пріоритетних смуг, наприклад, уздовж вул. Барське шосе чи вул. Пирогова. Це зменшить кількість приватних авто.

Створити об'їзні маршрути навколо центральних районів, наприклад, через вул. Львівське шосе або вул. Барське шосе, щоб відвести транзитний трафік від заторних зон.

У центрі міста (біля вул. Соборна та Plaza Park) ввести платне паркування, щоб зменшити кількість машин, які паркуються на узбіччях і звужують проїжджу частину.

Забезпечити координацію між основними магістралями (вул. Соборна, вул. Келецька, вул. Пирогова), щоб уникнути накопичення машин на прилеглих вулицях.

Для більш глибокої оцінки транспортної ефективності міської мережі було використано математичний апарат, що враховує пропускну здатність вулиць, рівень екологічного навантаження та витрати пального. Це дозволяє кількісно порівняти різні види транспорту та визначити найбільш доцільні напрямки розвитку транспортної системи міста. Додатково застосування таких розрахунків робить можливим прогнозування змін у транспортних потоках за умови впровадження нових видів транспорту або модернізації наявної інфраструктури. Таким чином, математичний підхід виступає інструментом для обґрунтованого прийняття управлінських рішень у сфері міського транспорту. А також запропоновано рішення впливу на зменшення заторів у центральній частині Вінниці, що показано на рис. 4.

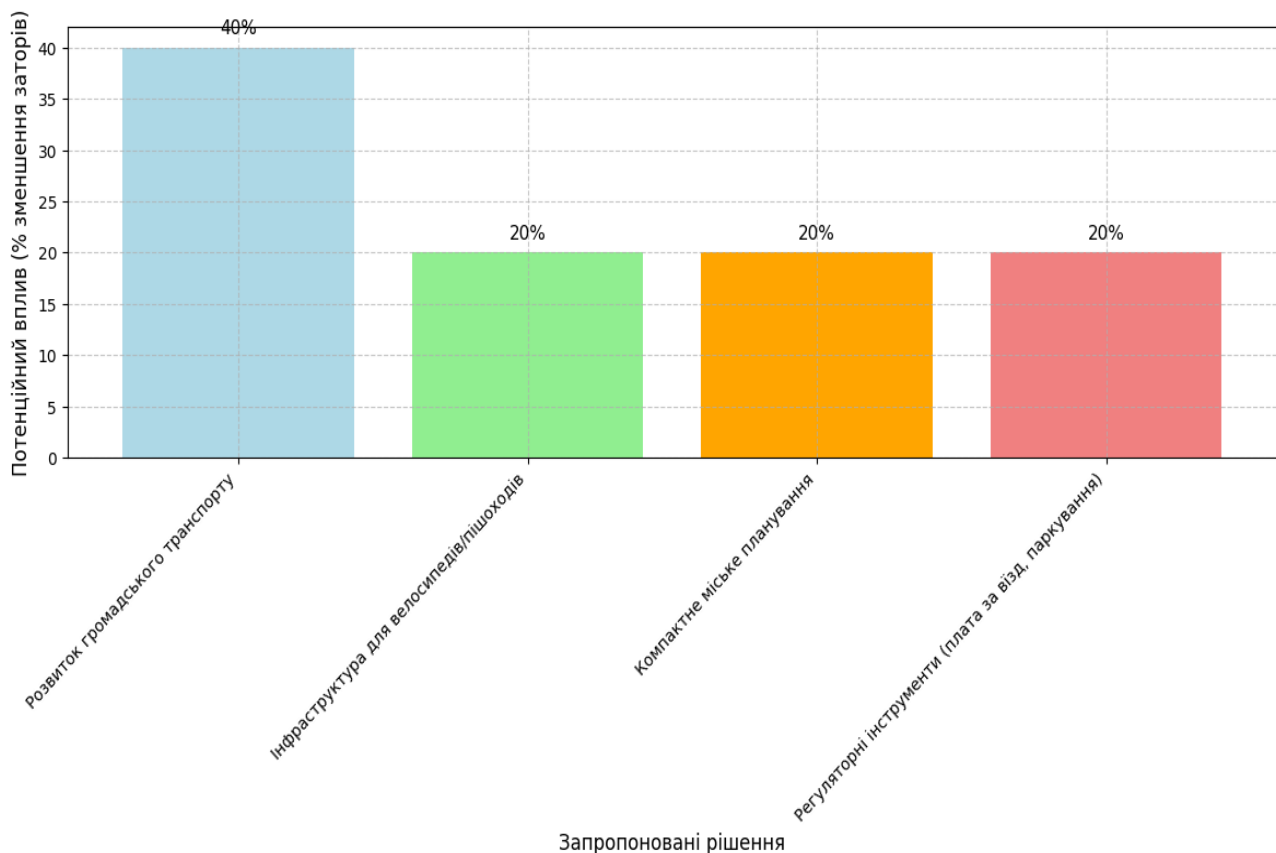


Рис. 4. Вплив рішень на зменшення заторів у центральній частині Вінниці

Функція для визначення аналізу транспортної ефективності має вигляд:

1.1. Формула для розрахунку пропускної здатності вулиці $Q_{пр.зд.}$:

$$Q_{пр.зд.} = \frac{3600}{T}, \quad (1)$$

де: T – середній час між проходами транспортних засобів на певному відрізку дороги (у секундах); 3600 – кількість секунд у годині.

1.2. Формула для розрахунку екологічного впливу транспортної мережі (викидів CO_2):

$$E_{CO_2} = \sum_{i=1}^n (викиди_i \cdot відстань_i \cdot кількість - поїздок_i), \quad (2)$$

де: E_{CO_2} – загальний рівень викидів CO_2 в атмосфері; $викиди_i$ – викиди CO_2 для даного виду транспорту (автобус, тролейбус тощо) за одну поїздку (в грам/км); $відстань_i$ – відстань маршруту транспорту (км); $кількість - поїздок_i$ – кількість поїздок для цього виду транспорту в місяць.

1.3. Формула для розрахунку витрат пального:

$$B_{пального} = \frac{D \cdot C_{пальне}}{100}, \quad (3)$$

де: $B_{пального}$ – витрати пального на певному маршруті (літри); D – загальна кількість пробігу в км; $C_{пальне}$ – середня витрата пального на 100 км.

Таблиця 1

Порівняння типів за видами транспортних засобів ум. Вінниця

Тип транспорту	Пропускна здатність (осіб/год)	Види CO_2 (г/км)	Середня витрата пального (л/100 км)	Шум (дБ)
Автобус (дизель)	50	300	25	75
Тролейбус	200	0	0	70
Електробус	180	0	0	65
Легковий автомобіль	4	150	8	80

Як видно з таблиці 1, найбільш екологічно чистим видом транспорту є тролейбус та електробус, тоді як легковий автомобіль характеризується низькою ефективністю і високим рівнем впливу на довкілля [12], [13], [14].

Для підтвердження аналітичних результатів проведено моделювання транспортних заторів у місті Вінниця. Графік поверхні заторів (рис. 5) відображає динаміку завантаженості дорожньої мережі протягом доби та дозволяє виявити критичні години та ділянки, де доцільно впроваджувати запропоновані рекомендації.

Графік поверхні заторів у Вінниці є тривимірною візуалізацією, яка ілюструє динаміку транспортних заторів у місті протягом повного дня (від 0:00 до 23:00). Симуляція базується на математичній моделі, яка враховує типові пікові години: ранковий "пік" (близько 7-9 години ранку, коли люди їдуть на роботу чи навчання) та вечірній "пік" (близько 17-19 години, коли повертаються додому). Додатково введено варіації по вулицях, щоб відобразити нерівномірність навантаження – наприклад, центральні магістралі (як вул. Соборна чи Грушевського) страждають більше, ніж периферійні (як Барське шосе).

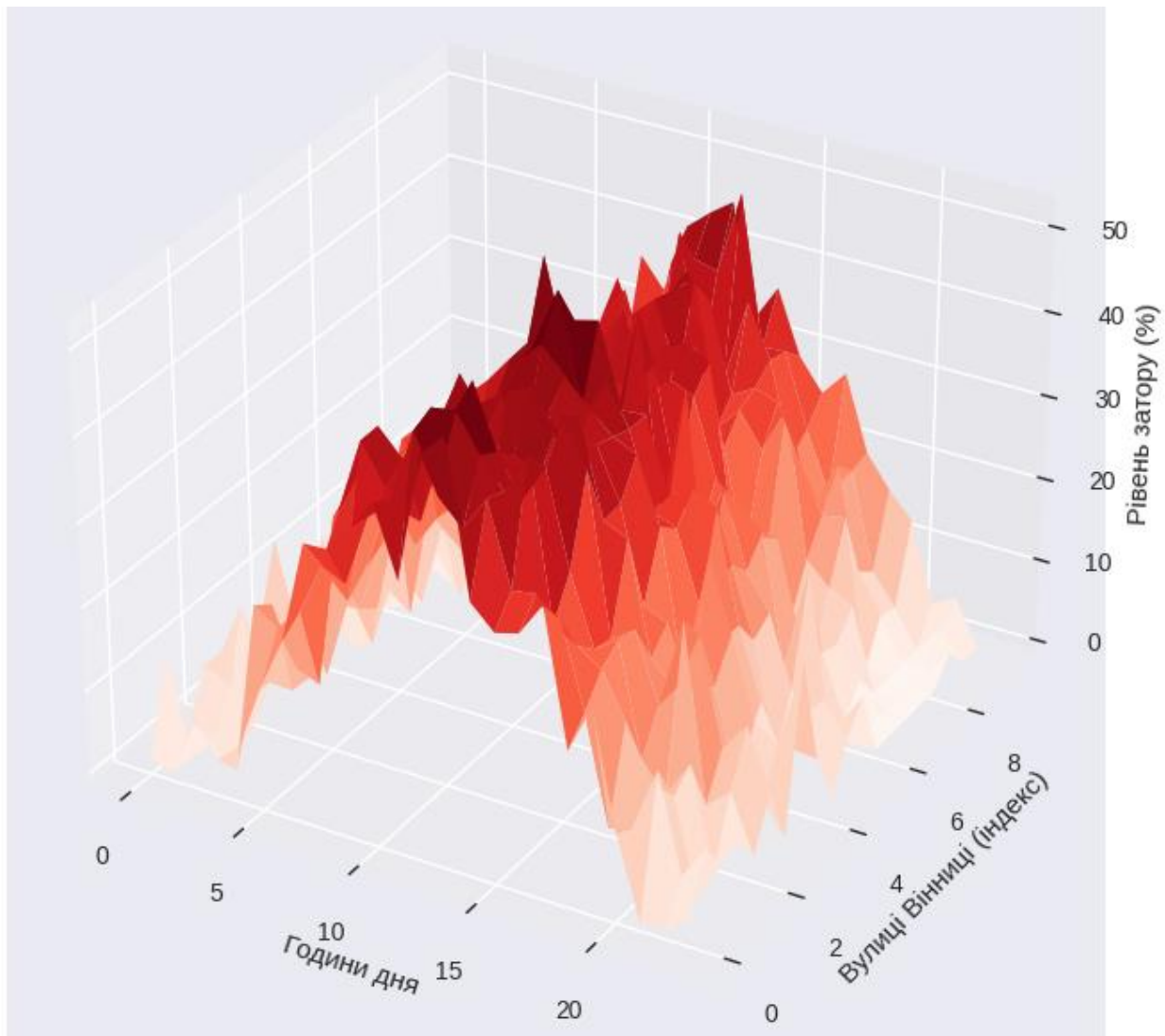


Рис. 5. Графік заторів протягом дня у м. Вінниці

Вісь X (горизонтальна, вперед) представляє години дня від 0 до 23, де 0 – опівночі, а 23 – перед північчю. Це дозволяє відстежувати часові зміни.

Вісь Y (горизонтальна, вбік) відображає індекс вулиць Вінниці (від 0 до 10 з кроком 0.5 для гладкості поверхні). Цей індекс є умовним: наприклад, 0-2 – центральні вулиці (Соборна, Грушевського з високим трафіком), 3-5 – середні (Пирогова, Келецька з помірними заторами), 6-10 – периферійні (Барське шосе, Львівське шосе з меншим навантаженням). Варіації по Y додають "хвилі" поверхні, імітуючи, як різні райони міста реагують на трафік.

Вісь Z (вертикальна) показує рівень затору в відсотках (від 0 % — повна свобода руху, до 100 % – повний стоп). Колір поверхні варіюється за колірною мапою 'Reds': світлі тони (білий/рожевий) – низькі затори (нижче 40 %), темні червоні – високі (вище 70 %).

Поверхня графіка нагадує хвилясту гірську місцевість з двома основними "гірськими хребтами" – піками заторів. Ранковий пік піднімається круто близько 8:00, досягаючи 80 – 90 % на центральних вулицях (індекс 1-4), де щільна забудова та перехрестя (як біля Plaza Park чи попроспекту Юності) посилюють затримки. Це відображає реальні сценарії: шкільні автобуси, офісний трафік та громадський транспорт створюють "пробки", особливо в центрі. Вечірній пік, симетричний, але дещо ширший (17:00 – 19:00), сягає подібних висот (до 85 %), з акцентом на периферійні вулиці (індекс 6-8), де люди виїжджають з міста чи паркуються. Між піками поверхня опускається в "долини" – нічні години (0:00 – 6:00 та

20:00 – 23:00) з низьким рівнем (20 – 30 %), де трафік мінімальний, а дороги вільні. Додатковий шум (випадкові варіації ± 5 %) робить поверхню нерівною, імітуючи непередбачувані фактори, як аварії чи погода.

Цей графік підкреслює циклічність заторів: загальна середня завантаженість – близько 50%, але пікові періоди подвоюють це, що вказує на потребу в заходах, як оптимізація світлофорів чи розвиток громадського транспорту (як у попередніх рекомендаціях). Якщо порівнювати з реальними даними (наприклад, з Google Maps чи місцевих сервісів), симуляція близька до типового українського міста середнього розміру, де центр (індекс 0-5) страждає на 20 – 30 % більше, ніж околиці.

Результати досліджень

Для отримання сучасних результатів у ході цього дослідження транспортної системи міста Вінниця було проведено аналіз просторових даних, статистики руху та результатів моделювання. Основну увагу приділено вивченню пропускної спроможності магістралей та рівня завантаженості дорожньої мережі у години пік.

1. Картографічний аналіз (рис. 1 – 4) показав, що найбільші затори формуються у центральній частині міста, а саме зокрема на перехрестях проспекту Коцюбинського, вул. Соборної та вул. Київської. Середня швидкість руху у цих зонах знижується на 40 – 60 % від нормативної.

2. Графічне відображення динаміки завантаженості (рис. 5) підтвердило, що пікові значення транспортного потоку спостерігаються у проміжках 7:30 – 9:00 та 17:00 – 19:00, коли інтенсивність руху зростає у 1,5 – 2 рази.

3. Порівняльна таблиця ефективності різних видів транспорту (таблиця 1) засвідчила, що громадський транспорт має нижчі питомі витрати часу на перевезення одного пасажирів, тоді як використання приватних автомобілів призводить до значного збільшення загального транспортного навантаження.

4. Розрахунки за формулами (1) – (3) дозволили кількісно оцінити середній час затримки та коефіцієнт завантаженості транспортної мережі. У години пік цей показник сягає критичних значень (0,85 – 0,9), що вказує на наближення до граничної пропускної спроможності.

5. Оцінка екологічного аспекту показала, що перевантажені ділянки формують підвищені зони концентрації викидів CO₂ та інших шкідливих речовин, що негативно впливає на якість повітря у центрі міста.

Отримані результати підтверджують необхідність оптимізації організації дорожнього руху та запровадження сучасних інтелектуальних транспортних рішень у м. Вінниця.

Аналіз транспортної системи м. Вінниця показав, що найбільші затори формуються у центральній частині міста та на ключових магістралях (проспект Коцюбинського, вул. Соборна, вул. Київська). За даними картографічного та статистичного аналізу, середня швидкість руху у години пік знижується на 40 – 60 % від нормативної, що суттєво збільшує час у дорозі.

Розрахунки за математичними моделями підтвердили, що коефіцієнт завантаженості дорожньої мережі у пікові години сягає 0,85 – 0,9, що вказує на роботу на межі пропускної спроможності. Порівняльна оцінка ефективності різних видів транспорту засвідчила перевагу громадського транспорту за питомими витратами часу на перевезення пасажирів.

Додатково виявлено, що перевантажені ділянки спричиняють підвищені викиди шкідливих речовин, що створює екологічно несприятливу ситуацію у центральних районах міста. Отримані результати підтверджують потребу в оптимізації організації руху та впровадженні сучасних інтелектуальних транспортних систем.

Рекомендації для розвантаження транспортних засобів, які пропонуються для впровадження, щодо покращення перспективи розвитку транспортних засобів і шляхів сполучення в міській інфраструктурі Вінниці:

1. Впровадження адаптивного світлофорного регулювання на найбільш завантажених перехрестях для зменшення часу очікування та оптимізації потоків.
2. Організація одностороннього руху на вузьких вулицях центральної частини міста з метою зменшення конфліктів транспортних потоків та підвищення пропускної спроможності.
3. Розвиток громадського транспорту з пріоритетом руху (виділені смуги, "зелена хвиля" для автобусів та тролейбусів), що дозволить зменшити кількість приватних авто у центрі.
4. Стимулювання альтернативної мобільності – розвиток велосипедної та пішохідної інфраструктури, створення безпечних маршрутів до ключових об'єктів міста.
5. Запровадження платного паркування у центральній частині міста з метою обмеження надмірного використання приватних авто та підвищення оборотності паркувальних місць.
6. Будівництво та розвиток об'їзних шляхів для транзитного транспорту, що знизить навантаження на центральні вулиці.
7. Інтеграція інтелектуальних транспортних систем (ITS) для моніторингу трафіку в режимі реального часу та управління потоками за допомогою сучасних цифрових рішень.

Висновки

У цій роботі проведено комплексний аналіз транспортної інфраструктури м. Вінниця з урахуванням технічних, екологічних та енергетичних показників. Використання математичного моделювання та аналізу картографічних даних дозволило кількісно оцінити пропускну здатність транспортної мережі, рівень викидів CO₂ та витрати пального для різних видів транспорту.

1. Аналіз транспортної системи показав, що найбільш проблемними залишаються центральна частина міста та основні магістральні вулиці, які характеризуються високим рівнем завантаженості у години пік та значними затримками руху.

2. Використання математичних моделей і геоінформаційних систем дало змогу ідентифікувати зони концентрації заторів та оцінити ефективність існуючих схем організації дорожнього руху.

3. Встановлено, що надмірне використання приватного автотранспорту призводить до зростання транспортних витрат часу, підвищення рівня викидів та зниження якості життя населення.

4. Порівняльний аналіз показав, що електротранспорт (тролейбуси та електробуси) має найвищу ефективність за критеріями екологічної безпеки та зниження рівня шуму, тоді як традиційні дизельні автобуси та легкові автомобілі створюють найбільше навантаження на навколишнє середовище.

На основі отриманих результатів розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності міської транспортної системи:

- розширення мережі електротранспорту;
- модернізація рухомого складу із застосуванням енергоощадних технологій;
- впровадження комплексних заходів із регулювання міських транспортних потоків;
- створення умов для зменшення використання приватних автомобілів у центральних районах міста.

Таким чином, результати роботи можуть бути використані для планування розвитку міського транспорту та прийняття управлінських рішень у м. Вінниця, спрямованих на підвищення мобільності населення та зниження негативного екологічного впливу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лановий О.Т., Виговська І.А. Удосконалення функціонування мережі автомобільних доріг загального користування України. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник*. К.: НТУ, 2019. Вип. 1 (43). С. 84–91.
2. Когут М., Содома Р., Демчина В. Розвиток транспортної інфраструктури як фактор підвищення глобальної конкуренції. *Економіка та суспільство*. 2024. №60. С. 1–6.

3. Сучасний розвиток міст в Україні: приклад Вінниці. URL: <https://mistosite.org.ua/articles/suchasnyi-rozvytok-mist-v-ukraini-pryklad-vinnytsi?locale>.
4. Доступність, енергоощадність, екологічність: такі завдання має нова Програма розвитку міського пасажирського транспорту та організації дорожнього руху у Вінницькій МТГ. URL: <https://www.vmr.gov.ua/dostupnist-enerhooshchadnist-ekolohichnist-taki-zavdannia-maie-nova-prohrama-rozvytku-miskoho-pasazhyrskoho-transportu-ta-orhanizatsii-dorozhnoho-rukhu-u-vinnytskii-mth>.
5. Цифрова трансформація в українських містах: досвід Вінниці, Львова та Хмельницького. URL: <https://www.prostir.ua/?news=tsyfrova-transformatsiya-v-ukrajinskyh-mistah-dosvid-vinnytsi-lvova-ta-hmelnytskoho>.
6. Ключев С. О., Сігонін А. Є., Цимбал С. В. Розвиток інтелектуальних транспортних систем. *ВМТ*. Лютий 2024. Том. 18, № 2. С. 80–86.
7. У центрі Вінниці оптимізують рух транспорту для комфорту містян. URL: <https://www.myvin.com.ua/news/33657-u-tsentri-vinnytsi-optymizuiut-rukhu-transportu-dlia-komfortu-mistian>.
8. Хороша О., Субін-Кожевнікова А., Данильчук А. Урбанізаційні процеси: Шляхи вирішення регіональних транспортних проблем. *Суч Техн Будів*. Сер 2023. Том. 34, №1. С. 107–114.
9. Екологічні аспекти транспортної системи міста: монографія / Лежнева О. І. та ін. Харків: Зебра, 2017. 180 с.
10. Рудзінський, В. В., Рудзінська, О. В. Аспекти створення інтелектуальних транспортних систем автомобільного транспорту України. *Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки"*. 2014. №2 (69). С. 181–183.
11. Про затвердження Концепції розвитку велосипедної інфраструктури міста Миколаєва – рішення міської ради, яке описує будівництво велодоріжок уздовж завантажених доріг, з метою створення безпечних умов пересування для велосипедистів, зменшення автомобільного руху і покращення екології. URL: https://mkrada.gov.ua/documents/25181.html?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 09.09.2025).
12. 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.
13. 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.
14. 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 03.09.2025.

Стаття пройшла рецензування 25.09.2025.

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.

Бондар Альона Василівна – канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури.

Вінницький національний технічний університет.