

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В УМОВАХ МІСТА МЕТОДОМ GPS-ТРЕКІВ

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Національна академія національної гвардії України

<sup>3</sup>Вінницький національний технічний університет

*Вибір раціональних критеріїв якості організації дорожнього руху у містах є актуальним завданням для вчених у галузі автомобільного транспорту, оскільки це безпосередньо впливає на ефективність діяльності у сфері забезпечення безпеки та комфортності руху автомобілів у міських умовах. Залежно від цілей аналізу, складності мережі, технічних можливостей якість організації дорожнього руху може оцінюватися за показниками економічної ефективності транспортного процесу, рівня аварійності, екологічної безпеки, соціальної привабливості тощо. Сучасний рівень розвитку геоінформаційних технологій дає змогу здійснювати постійний моніторинг швидкісного режиму руху транспортного засобу. Для отримання характеристик якості організації дорожнього руху були проведені експериментальні дослідження на ділянці вулично-дорожньої мережі міста Харкова, яка відповідає типовому маршруту руху особистого транспорту від віддаленого спального району до центральної частини міста.*

*У результаті обробки даних GPS-треку були побудовані гістограма розподілу миттєвої швидкості та графіки руху автомобіля в координатах «час–відстань», «час–швидкість», «відстань–швидкість», які дозволяють візуально оцінити режим руху упродовж всього маршруту та визначити потенційні «вузькі місця». Також були розраховані такі просторово-часові характеристики, як середня технічна швидкість, питомий час у русі, питомий час простою, а також енергетичні показники якості організації дорожнього руху: шум прискорення, градієнт швидкості, градієнт енергії. Після розділення експериментального маршруту на окремі кілометрові ділянки були проаналізовані зміни характеристик якості організації дорожнього руху у міру наближення до центру міста. На першій половині маршруту при русі магістральною вулицею спостерігалася нестабільність швидкісного режиму через зупинки та простої в зоні регульованих перехресть. Наявність тренду до зменшення середньої технічної швидкості при наближенні до центру міста пояснюється збільшенням завантаження ВДМ у межах центральної ділової частини міста та, як наслідок, появою додаткових затримок руху автомобіля. З наближенням до центру міста відбувалося збільшення питомого часу у русі при незначному зростанні питомого часу простою, також спостерігалася зростання градієнту швидкості при незначному зменшенні градієнту енергії.*

**Ключові слова:** організація дорожнього руху, швидкісний режим, середня технічна швидкість, графік зміни швидкості, GPS-треки.

### Вступ

Забезпечення високих показників якості організації дорожнього руху (ОДР) є одним із головних завдань транспортної галузі, оскільки автомобільний транспорт обслуговує майже всі сфери діяльності суспільства, це сприятиме зростанню ефективності економіки загалом. Проблеми визначення якості транспортної мережі постійно постають у практиці ОДР та зазвичай є першим етапом інженерної діяльності із впровадження будь-яких заходів у цій сфері. Завдання визначення параметрів якості ОДР у містах можуть вирішуватися як на рівні вулично-дорожньої мережі (ВДМ), так і на локальному рівні.

Аналіз критеріїв якості ОДР у містах є важливим напрямом для вчених у галузі автомобільного транспорту, оскільки це безпосередньо впливає на безпеку та комфортність руху автомобілів у міських умовах. Загалом можна виділити два концептуальних підходи до оцінки якості організації руху на ВДМ: використання приватних критеріїв і використання інтегральних критеріїв.

Приватні критерії чітко відповідають певним завданням дослідження, їх цільовим установкам і не можуть розглядатися ізольовано від них. У свою чергу, самі погляди на цілі і методи ОДР, їх пріоритетність постійно еволюціонують. Як у науковому, так і в практичному плані загальною тенденцією розвитку методів проектування транспортного планування міст стало зосередження уваги на негативних ефектах, що є супутніми зростанню рівня автомобілізації. Головними проблемами визнаються надмірна залежність населення від індивідуального автомобіля, переважаність міст автомобільним транспортом, особливо їх центральної ділової частини. Сучасні дослідження свідчать

про суттєвий вплив індивідуального транспорту на якість життя населення міст, а також на стан довкілля [1–3]. Обов'язковим елементом під час оцінки якості дорожнього руху стає оцінка його впливу на міське середовище з урахуванням екологічного та соціального ефектів.

Інтегральні критерії оцінки якості ОДР являють собою комплексні методи, які містять різні параметри, як-от щільність руху, час затримки, швидкість руху, загальний час поїздки та інші. Отримані дані аналізуються та підсумовуються в єдиний показник, який відображає загальну якість ОДР у місті. Інтегральні критерії дають змогу не тільки оцінити поточний рівень ОДР, а й визначити ефективність заходів, що вживаються для поліпшення дорожньої інфраструктури та підвищення безпеки дорожнього руху [4]. Однак інтегральні критерії доцільно використовувати в комплексі з іншими методами та інструментами для отримання всебічної інформації про рівень ОДР та розробки ефективної стратегії його покращення.

### Аналіз публікацій

Аналіз наукових публікацій показує, що організація дорожнього руху є важливою складовою управління транспортною інфраструктурою у містах. Авторами пропонуються різні підходи до оцінки якості ОДР у містах, включно з економічними, технічними, соціологічними та інженерними аспектами. Критерії якості організації дорожнього руху можуть бути визначені на основі різних параметрів, як-то безпека, комфортність, пропускна здатність, стійкість та економічність. Залежно від обраних критеріїв вчені створюють різні моделі та інструменти для вимірювання якості ОДР у містах і розвивають нові підходи до покращення умов руху – від удосконалення світлофорного регулювання [5] до використання технологій «розумних міст» та сучасних інтелектуальних технологій, спрямованих на покращення якості життя та безпеки населення у місті [6–8].

Пропускна спроможність залишається одним із головних критеріїв якості ОДР. Для забезпечення високого рівня пропускної спроможності в багатьох дослідженнях рекомендується використовувати сучасні інформаційні технології, як-от системи динамічного керування [9] та хмарні системи керування транспортом [10].

Оскільки параметри ОДР міст можуть значно впливати на показники безпеки дорожнього руху, вони залишаються важливим критерієм якості ОДР. Наукові публікації показують, що вжиття заходів для покращення організації дорожнього руху (наприклад, удосконалення інфраструктури, скорочення автомобільного трафіку, введення нових правил користування індивідуальним транспортом тощо) може знизити ризик аварій та підвищити безпеку для всіх користувачів ВДМ міст [11–13].

Інтегральним критерієм для оцінки умов руху може виступати рівень обслуговування дороги (Level of Service, скорочено LOS), розроблений в США і широко визнаний фахівцями багатьох країн [14, 15]. Методика його застосування входила в усі чотири видання (1950, 1965, 1985, 2000) керівництва з оцінки пропускної здатності Highway Capacity Manual (СНМ) і безперервно удосконалюється. Сфера використання цього критерію охоплює стадії планування, проектування та експлуатації доріг. На сьогодні критерій LOS використовується для оцінки умов руху як у програмах моделювання ВДМ, так і у вузькоспеціалізованих програмах проектування перехресть і розв'язок.

Так звані енергетичні критерії якості ОДР оцінюють витрати енергії, що виділяється під час руху автотранспорту. Такі критерії містять, наприклад, кількісну оцінку витрат енергії на проїзд зупинок громадського транспорту, наявність енергоефективної дорожньої інфраструктури, організацію роботи світлофорів тощо [4]. Використання енергетичних критеріїв дає змогу розробляти ефективніші проекти вулично-дорожньої мережі та створювати більш комфортні умови для учасників дорожнього руху з погляду економії палива, зниження викидів та підвищення безпеки дорожнього руху.

Деякі автори критерієм якості ОДР вважають комфортність руху, що може містити такі параметри, як-от рівень шуму, рівень вібрації, рівень загазованості, якість дорожнього покриття і доступність громадського транспорту [4, 16].

Як показують результати багатьох досліджень, зміна швидкості автомобіля на дорогах міста може бути важливим показником ефективності дорожнього руху. Одна з методик оцінки якості ОДР у містах базується на аналізі графіків зміни швидкості автомобіля, які отримуються шляхом використання даних, отриманих за допомогою GPS-трекерів, встановлених на автомобілях, що рухаються міськими вулицями. До переваг цієї методики відносять те, що вона враховує всі фактори, які впливають на стан транспортного потоку, тому використання даних GPS-треків навігаційного обладнання транспортних засобів дає змогу здійснювати оцінку і контроль якості ОДР в режимі реального часу і водночас значно знижувати їх трудомісткість. Аналіз даних про швидкість руху автомобілів дозволяє ідентифікувати вузькі місця у міській дорожній мережі, де виникають затримки руху, та запропонувати заходи для їх усунення [17–19]. Ці публікації демонструють потенціал GPS-технологій щодо оцінки якості ОДР у

містах. Зокрема, аналіз графіків зміни швидкості автомобіля дозволяє ефективно виявляти ділянки доріг, де виникають затори та затримки руху, що може бути використане для розробки заходів щодо покращення трафіку в місті.

### Методика дослідження

З метою апробації методики дослідження якості ОДР із використанням даних GPS-треків та оцінки її ефективності було вирішено провести низку експериментальних досліджень на ділянці ВДМ міста Харкова. Легковий автомобіль типу седан рухався як їзова лабораторія в транспортному потоці. Для запису GPS-треків використовувався навігатор марки Pioneer 7014 та навігаційне програмне забезпечення Navitel.

Запис треків проводився у форматі grx (текстовий формат зберігання й обміну даними GPS, заснований на форматі XML), що дає змогу зберігати інформацію в довільній формі, за якої обов'язковими є тільки довгота і широта точок треку. Для первинної обробки треків і перекладу отриманих характеристик у формат Excel використовувалася програма GPS Track Editor, яка відрізняється простим інтерфейсом, призначеним для користувача (рис. 1).

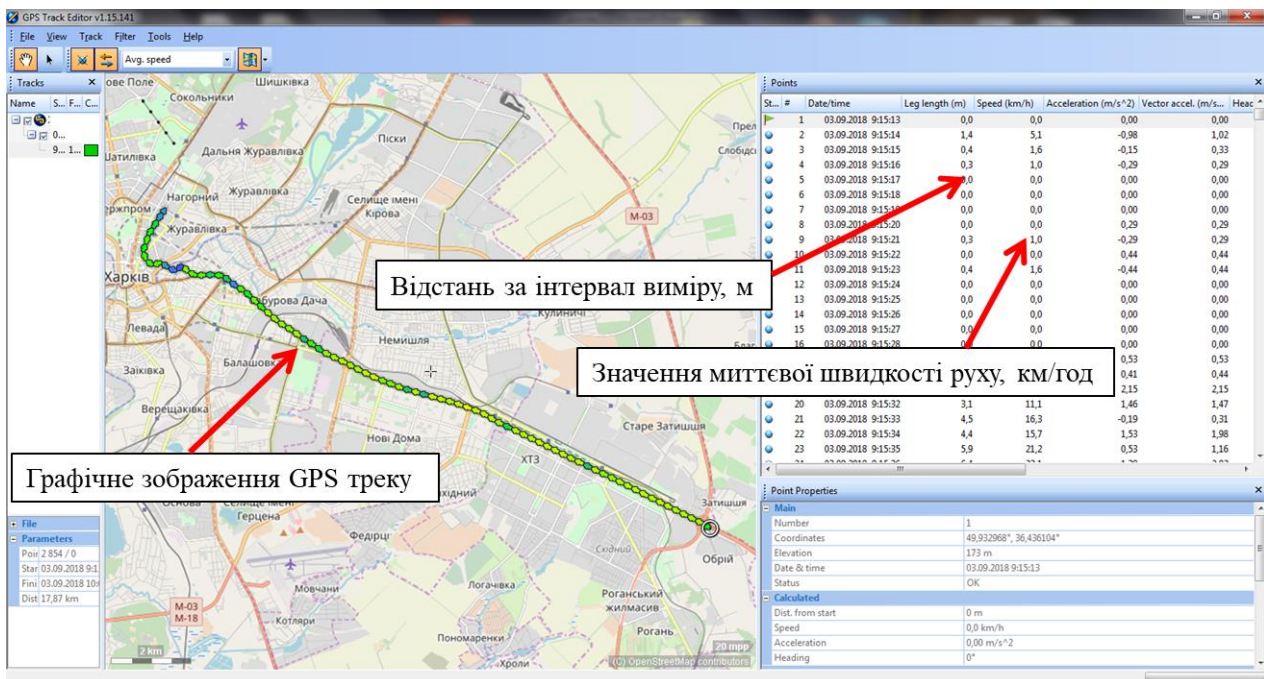


Рис. 1. Зображення та результати обробки GPS-треку

Результатами первинної обробки треку програмою стало отримання з інтервалом в 1 секунду таких параметрів, як час від початку запису треку (с); довжини сегмента/секції (км); тривалість руху (хв); миттєва швидкість руху (км/год); миттєве прискорення (м/с<sup>2</sup>). Для подальшої обробки даних, проведення розрахунків та побудови графіків була використана програма Excel. Така методика обробки даних GPS-треку дозволяє досить швидко представити параметри руху автомобіля досліджуваною ділянкою ВДМ міста у формі графіків.

Початковими і кінцевими точками були, відповідно: перетин окружної автомобільної дороги і вулиці Проспект Героїв Харкова на в'їзді в місто Харків та Харківський національний автомобільно-дорожній університет (за адресою вулиця Ярослава Мудрого, 25). Отже, досліджуваною ділянкою ВДМ міста був обраний маршрут від одного з найбільш віддалених селітебних районів міста до його центральної частини, що відповідає маршруту щоденної робочої поїздки умовного мешканця периферійного мікрорайону в центр міста. Це дало змогу додатково дослідити зміну показників якості ОДР у міру наближення до центральної частини міста. Довжина маршруту становила 17,4 км, значна частина якого пролягала по проспекту Героїв Харкова – найдовшій магістральній вулиці міста. Дослідження проводилося у будній день тижня у проміжку часу між 10:00 та 11:00 годинами.

Автомобіль виконував рух у транспортному потоці із дотриманням усіх вимог Правил дорожнього руху, перевищення швидкості від встановлених 50 км/год допускалося не більше як на 10 км/год. У процесі руху не виникали будь-які додаткові затримки з причин, не пов'язаних з організацією дорожнього руху (ДТП, проведення дорожніх робіт, тощо), що могло б вплинути на підсумкові показники руху.

### Результати дослідження

Після конвертації в програмне середовище Excel з отриманого масиву даних одразу можуть бути побудовані графіки, що відображають рух автомобіля за досліджуваним маршрутом. Наприклад, можна побудувати графіки зміни швидкості руху у часі та по довжині маршруту, а також гістограму розподілу миттєвих швидкостей руху за секундними інтервалами.

Найбільш чутливим до дорожніх умов та стану транспортного потоку параметром є миттєва швидкість автомобіля, оскільки вона є безпосереднім результатом процесу дорожнього руху. Тривалість інтервалу фіксації параметрів руху автомобіля в 1 с дає змогу отримати гістограму розподілу миттєвих швидкостей руху за час поїздки (рис. 2).



Рис. 2. Розподіл миттєвих швидкостей автомобіля за секундними інтервалами

Можна побачити, що більшість значень миттєвих швидкостей руху знаходяться в інтервалі 0...5 км/год, що свідчить про значну кількість простоїв та затримок під час руху, пов'язаних або з регулюванням дорожнього руху, або з високим рівнем завантаження ВДМ міста на окремих ділянках маршруту. Для інших інтервалів також спостерігається нерівномірність розподілення швидкості, наявне збільшення відносних частот на інтервалі значень 50-60 км/год. Причиною цього є те, що водій примусово обмежував максимальну швидкість руху на окремих ділянках ВДМ за умов вільного руху, коли ступінь завантаження дороги була невідомою. Статистичні характеристики розподілу миттєвих значень швидкості також наведені на рис. 2. Середньозважене значення розподілу миттєвої швидкості відповідає середній технічній швидкості руху протягом поїздки.

На рис. 3 наведені графіки руху автомобіля в координатах «час–відстань», «час–швидкість» та «відстань–швидкість». Можна побачити, що більш стабільним режим руху є на початку маршруту, де рух здійснюється по магістральній вулиці загальноміського значення, водночас у межах центральної частини міста спостерігаються часті зміни швидкісного режиму руху, зупинки та рух у режимі «старт-стоп». Окрім більш високих середніх значень швидкості руху на початку маршруту, затримки руху тут спостерігаються у вигляді простоїв на підходах до регульованих перехресть. Наприкінці маршруту затримки та навіть простої виникають частіше, що обумовлено збільшенням рівня завантаження дороги.

Під час руху на окремих ділянках спостерігаються періодичні зниження швидкості до нульового значення. На графіку «відстань–швидкість» вони відповідають місцям розташовування перехресть, пішохідних переходів та інших місць, де водій змушений знижувати швидкість руху автомобіля. Інші ділянки, де рух відбувається зі зниженою швидкістю, можуть показувати наявність вузьких місць ВДМ міста, де через збільшення рівня завантаження дороги відбувається зниження швидкості руху транспортного потоку. Для локалізації вузьких місць ВДМ більш інформативною є діаграма в координатах «відстань–швидкість», побудована для більш коротких відрізків маршруту, водночас за графіками в координатах «час–швидкість» можна оцінити тривалість простоїв та величину затримки в русі.

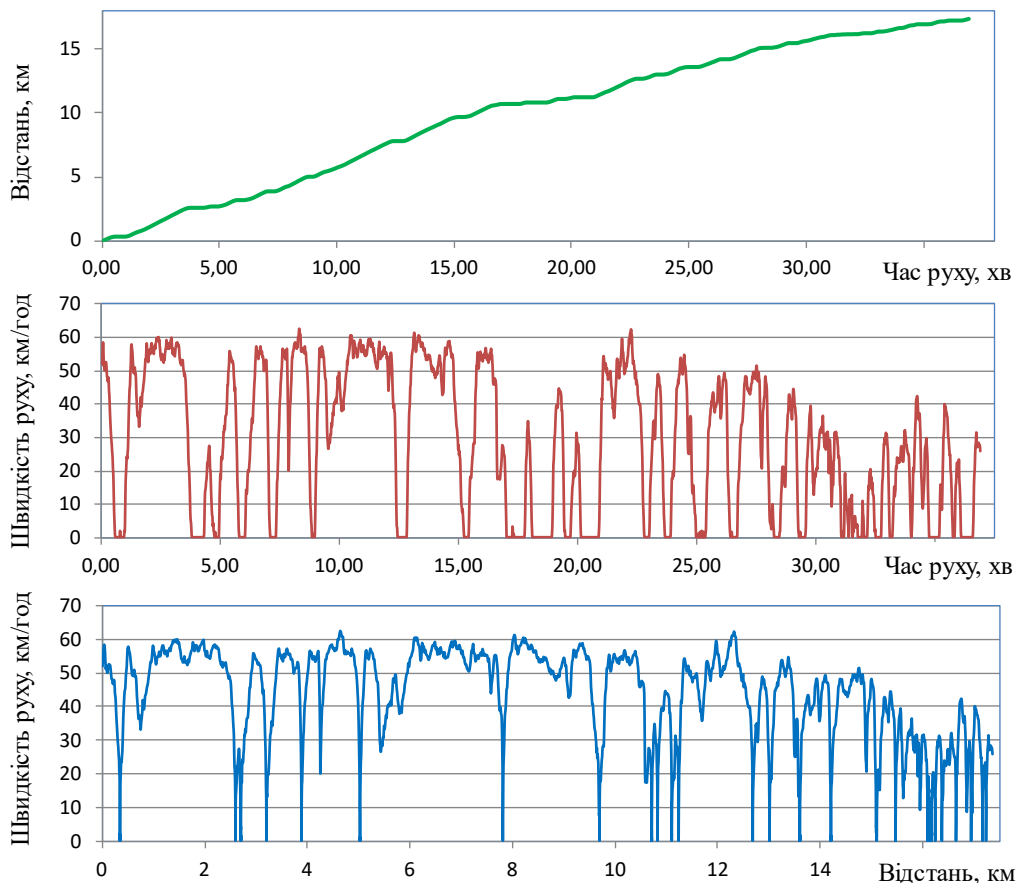


Рис. 3. Зображення та результати обробки GPS-треку

Такі показники, як середня технічна швидкість, питомий час руху (темп руху), питомий час простою, можуть безпосередньо використовуватися як критерії оцінки ОДР. Їх відрізняють універсальність, простота вимірювання, можливість вартісної інтерпретації для визначення економічної ефективності процесу перевезень.

Оскільки за умовами експерименту автомобіль рухався в умовах реального транспортного потоку від початкового пункту до кінцевого та зупинки відбувалися лише з причин, пов'язаних з організацією дорожнього руху, середня технічна швидкість за результатами поїздки може бути отримана за формулою:

$$V_T = 60 \cdot L_m / T, \quad (1)$$

де  $L_m$  – відстань, що проїхав автомобіль за маршрутом, км;  $T$  – сумарний час руху, хв.

Питомий час у русі може бути знайдений як, хв/км:

$$T_r = 60 / V_r, \quad (2)$$

де  $V_r$  – середня швидкість у русі (для інтервалів, де швидкість була не менша за 5 км/год), км/год.

Питомий час простою визначаємо як, хв/км:

$$T_s = \sum t_s / L_m, \quad (3)$$

де  $\sum t_s$  – сумарна тривалість інтервалів простою, хв;  $T_{рух}$  – час руху, хв.

Отримані внаслідок обробки даних GPS-треку значення швидкості, відстані, часу руху та прискорення автомобіля для кожного секундного інтервалу дають змогу також отримати такі показники якості ОДР, як шум прискорення, градієнт швидкості, градієнт енергії. Ці критерії оцінюють важливу властивість ОДР – стабільність режиму руху [20].

Шум прискорення може бути знайдений як:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n j_i^2}, \quad (4)$$

де  $j_i$  – значення прискорення на  $i$ -му інтервалі вимірювання,  $\text{м/с}^2$ ;  $n$  – кількість інтервалів вимірювання.

Гradient швидкості  $G_V$  являє собою відношення шуму прискорення до середньої технічної швидкості та є більш зручним показником для оцінки умов руху на ВДМ великих міст. Цей критерій так само, як і шум прискорення, реагує на коливання швидкості, проте його зміни більшою мірою обумовлені затримками під час руху.

Ще одним критерієм, що може використовуватися для оцінки якості дорожнього руху на ВДМ міст, є gradient енергій, що в нашому випадку може бути отриманий як:

$$G_E = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (j_i \cdot V_i - \bar{j}_i \cdot \bar{V}_i)^2}}{V_T}, \quad (4)$$

де  $j_i \cdot V_i$  – значення добутку прискорення та швидкості на  $i$ -му інтервалі вимірювання,  $\text{м}^2/\text{с}^3$ .

Розраховані за даними GPS-треку показники наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники якості ОДР на ділянці ВДМ міста Харкова

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Витрачений час	хв.	36,9
Середня технічна швидкість	км/год	28,2
Темп руху	хв/км	2,13
Питомий час у русі	хв/км	1,68
Питомий часу простою	хв/км	0,57
Шум прискорення	$\text{м/с}^2$	0,84
Gradient швидкості	$\text{с}^{-1}$	0,12
Gradient енергії	$\text{м/с}^2$	0,75

Як можна бачити, середня технічна швидкість за маршрутом не перевищує 30 км/год, що є досить низьким показником для легкового автомобіля. Отримане значення шуму прискорення характеризує значні коливання швидкості руху та загалом є характерним для ділянок ВДМ регульованого руху. За показником gradienta енергії умови руху можна вважати складними, а рівень ОДР незадовільним, що вказує на наявність тривалих затримок і нерівномірність руху.

Для подальшого дослідження зміни характеристик якості ОДР у міру наближення до центральної частини міста досліджуваний маршрут було розбито на окремі кілометрові ділянки та проведено розрахунки на кожній із цих ділянок окремо. Результати аналізу у вигляді графіків наведено на рис. 4 та рис. 5.

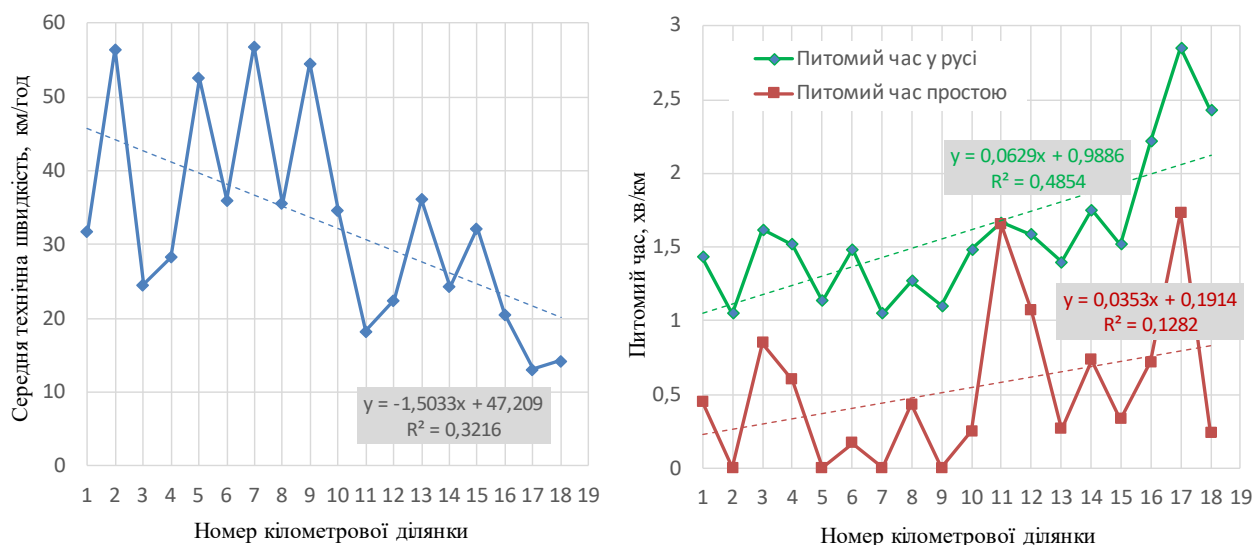


Рис. 4. Зміна технічної швидкості, питомого часу в русі та питомого часу простою по кілометрових ділянках маршруту

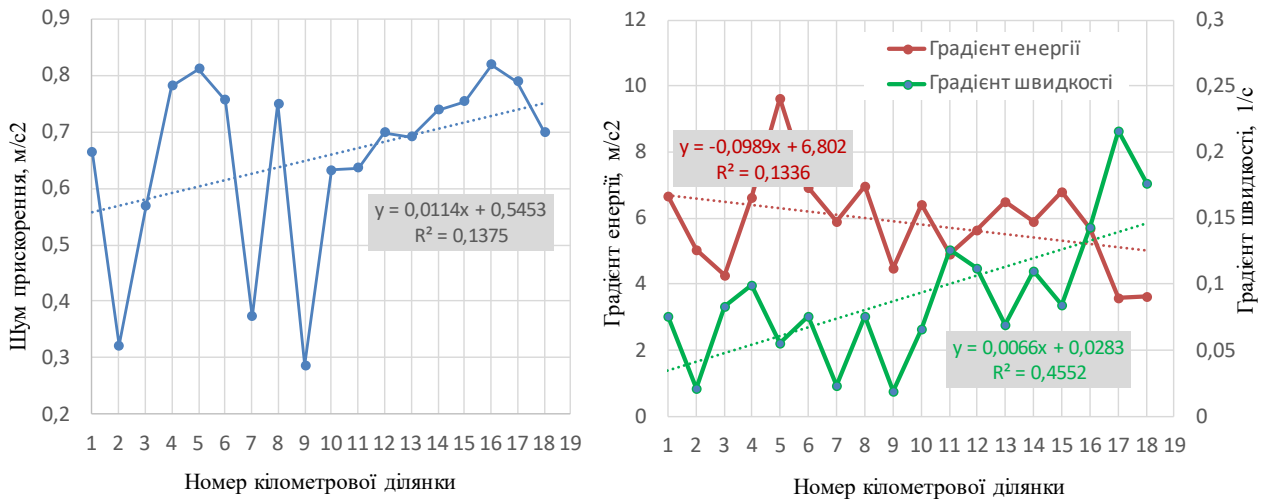


Рис. 5. Зміна шуму прискорення, градиєнту швидкості та градиєнту енергії по кілометрових ділянках маршруту

Можна побачити значні варіації середньої технічної швидкості, особливо в першій частині маршруту, що є характерним для руху по магістральній вулиці. Порівняно високі значення середньої технічної швидкості спостерігаються для кілометрових ділянок, що потрапляли на перегони проспекту Героїв Харкова, а відносно малі значення були отримані на ділянках, де розташовані регульовані перехрестя. Наявність тренду до зменшення середньої технічної швидкості при наближенні до центру міста пояснюється збільшенням завантаження ВДМ у межах центральної ділової частини міста та, як наслідок, появою додаткових затримок руху автомобіля. Також у міру наближення до центру міста спостерігається збільшення питомого часу у русі при незначному зростанні питомого часу простою. Також можна зробити припущення про наявність «вузьких місць» на ділянках 3, 11 та 17.

Як бачимо з рис. 5, графік зміни шуму прискорення демонструє значний розкид значень для першої половини маршруту, де рух відбувався магістральною вулицею з розгонами до максимально дозвільної швидкості та відносно тривалими зупинками в зоні регульованих перетинань. Хоча шум прискорення, окрім іншого, може характеризувати рівень комфорту праці водія, така чутливість цього показника робить його загалом незручним для оцінки якості ОДР на ВДМ великих міст. Більш доцільним є використання як критерію градиєнту швидкості, який демонструє зростання у міру наближення до центральної частини міста. Також на графіках можна побачити різкий перехід характеру зміни розрахованих показників, починаючи з ділянки 11, що свідчить про якісні зміни режиму руху та може вважатися умовною границею центральної ділової частини міста.

## Висновки

Результати оцінки якості ОДР в містах залежать від багатьох факторів, зокрема і від вибору та методики отримання відповідних критеріїв, достовірність та ефективність яких можуть змінюватися залежно від конкретного завдання та особливостей транспортної інфраструктури об'єкту дослідження. Зважаючи на прийняті критерії, вчені створюють різні моделі та інструменти для вимірювання якості ОДР у містах та розвивають нові підходи до покращення умов руху. Важливими показниками якості дорожнього руху, які насамперед впливають на техніко-економічні показники транспортного процесу перевезень, є швидкість та час сполучення за певними маршрутами на ВДМ міста. Якість умов праці водія доцільно оцінювати, використовуючи так звані енергетичні критерії якості дорожнього руху.

Існує велика кількість наукових досліджень, де якість ОДР у містах оцінювалася за даними GPS-треків. У цих дослідженнях застосовуються аналітичні методи та методи моделювання на основі GPS-даних. Результати показують, що використання даних GPS значно підвищує точність оцінки якості ОДР у містах.

Проведені експериментальні дослідження загалом підтвердили можливість використання цієї методики для аналізу умов руху на окремих ділянках ВДМ та виявлення потенційних «вузьких місць». Однак, слід зазначити, що на параметрах руху автомобіля, окрім зовнішніх перешкод з боку транспортного потоку, можуть впливати психофізіологічні властивості водія. Наприклад, в умовах експериментального руху він може мати внутрішню мотивацію до певних результатів дослідження. Це може впливати на поведінку дослідника під час проведення експерименту, коли він підсвідомо буде імітувати певну поведінку водія під час керування автомобілем.

Результати розрахунку зазначених показників по окремих кілометрових ділянках показали погіршення якості ОДР при наблизенні до центральної частини міста. Також спостерігалися коливання показників градієнту швидкості та градієнту енергії по ділянках маршрутів, причиною чого можуть бути пролягання експериментального маршруту по магістральній вулиці загальноміського значення з невеликим рівнем завантаження рухом, що дало змогу транспортному засобу значною мірою використовувати швидкісний режим, та значні затримки руху в зоні розташування регульованих перехресть.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Farias C. A., do Nascimento E. S. and Gouvea R. S. The relationship between population growth and car dependence in Brazilian cities. *Journal of Transport Geography*. 2019. no. 74. P. 149–158. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.11.021.
- [2] Hondula D. M., Penney K. and Devitt D. A. The Complex Relationships Between Acculturation and Transportation Behaviors of Mexican Immigrants in the United States. *Journal of Immigrant and Minority Health*. 2018. no. 20(2). P. 408–416. DOI: 10.1007/s10903-017-0727-1.
- [3] Jin J., Lu J. W. A Spatial Durbin Panel Analysis of Urbanization, Population Density, and Residential CO2 Emissions in China. *Sustainability*. 2016. no. 8(3). P. 231–239. DOI: 10.3390/su8030231.
- [4] Fayed Alanazi. A Systematic Literature Review of Autonomous and Connected Vehicles in Traffic Management. *Applied Sciences*. 2023. no.13(3). DOI: 10.3390/app13031789.
- [5] Xiaoqiang Ren, Ronghui Liu, Chien-Hua Wu. A review of the criteria for evaluating traffic signal control systems. *Transportation Research, Part C: Emerging Technologies*. 2018. с 10.1016/j.trc.2018.02.004.
- [6] Kapitanov V., Silyanov V., Monina O., Chubukov A. Methods for traffic management efficiency improvement in cities. *Transportation Research Procedia* 36. 2018. P. 252–259. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.077.
- [7] Designing, developing, and facilitating smart cities: urban design to IoT solutions / Angelakis V. et al. Switzerland: Springer, 2017, 240 p.
- [8] An Intelligent Traffic Surveillance System Using Integrated Wireless Sensor Network and Improved Phase Timing Optimization / Quadri Noorulhasan et al. Naveed *Sensors (Basel)*. 2022. 22(9): 3333. DOI: 10.3390/s22093333.
- [9] Criteria for evaluating dynamic traffic management strategies: A stakeholder-driven approach / Andries F. Hofman et al. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2016. DOI: 10.1016/j.trc.2016.02.008.
- [10] Erfan Fouladfar, Mohammad-Reza Khayyambashi, Josep Sole-Pareta. Using cloud computing to improve urban traffic management and optimization system. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*. 2021. Volume 12. Issue 4. P. 302–313. DOI: 10.34218/IJARET.12.4.2021.032.
- [11] Dinesh Mohan, Shrikant I. Bangdiwala, Andres Villaveces. Urban street structure and traffic safety. *Journal of Safety Research*. 2017 Volume 62. P. 63–71. DOI: 10.1016/j.jsr.2017.06.003/
- [12] Sarbaz Othman, Robert Thomson. Influence of road characteristics on traffic safety. *Chalmers University of Technology, Department of Applied Mechanics, Sweden*. 2000. Paper Number 07–0064. URL: [https://www.academia.edu/11108142/INFLUENCE\\_OF\\_ROAD\\_CHARACTERISTICS\\_ON\\_TRAFFIC\\_SAFETY](https://www.academia.edu/11108142/INFLUENCE_OF_ROAD_CHARACTERISTICS_ON_TRAFFIC_SAFETY)
- [13] Sandro Colagrande. A methodology for the characterization of urban road safety through accident data analysis. *Transportation Research Procedia*. 2022. no. 60. P. 504–511. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.12.061
- [14] Sarah Penny. Level of Service: Defining Scores for Different Transportation Facilities. *Blog – ITS Systems – Vehicle detection, Traffic Management*, 2021.
- [15] Solodkiy A. I, Chernikh N. V. Improving the level of traffic service on the road network of cities. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2020. no. 786(1):012044. DOI:10.1088/1757-899X/786/1/012044.
- [16] Macroscopic approach to urban traffic network performance assessment / Gauthier J et al. *Transportation Research Procedia* 2017. Vol. 25. P. 3151–3167, 2017. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.423.
- [17] Shuming Sun, Juan Chen, Jian Sun. Traffic congestion prediction based on GPS trajectory data. *International Journal of Distributed*. 2019. Vol. 15(5). DOI: 10.1177/1550147719847440.
- [18] Eleonora D'Andrea, Francesco Marcelloni. Detection of traffic congestion and incidents from GPS trace analysis. *Expert Systems with Applications*. 2017. Volume 73. P. 43–56. DOI: 10.1016/j.eswa.2016.12.018
- [19] Xie Y., He S., Wang D., & Ma Y. Evaluation of the quality of urban road network using GPS data. *Journal of Advanced Transportation*, 2020. DOI: 10.1155/2020/4285694
- [20] Drew D. A. Braun M., Coleman C. S. Traffic Flow Theory. Differential Equation Models. Modules in Applied Mathematics. Springer, New York, 1983. DOI: 10.1007/978-1-4612-5427-0\_14.

**Рябушенко Олександр Васильович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри організації та безпеки дорожнього руху, e-mail: [riabushenko79@ukr.net](mailto:riabushenko79@ukr.net)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

**Склярів Микола В'ячеславович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автобронетанкової техніки, e-mail: [nvsklyarov@ukr.net](mailto:nvsklyarov@ukr.net)

Національна академія Національної гвардії України, м. Харків

**Кашканов Віталій Альбертович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: [kash\\_2004@ukr.net](mailto:kash_2004@ukr.net)

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця



O. Riabushenko<sup>1</sup>  
M. Sklyarov<sup>2</sup>  
V. Kashkanov<sup>3</sup>

## The research of quality indicators of traffic management in the city using the method of GPS-tracks

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University

<sup>2</sup>National Academy of the National Guard of Ukraine

<sup>3</sup>Vinnitsia National Technical University

*The choice of rational quality criteria for the organization of road traffic in cities is an urgent task for scientists in the field of road transport, as it directly affects the effectiveness of activities in the field of ensuring the safety and comfort of car traffic in urban conditions. Depending on the goals of the analysis, the complexity of the network, and technical capabilities, the quality of traffic management can be assessed by indicators of the economic efficiency of the transport process, the level of accidents, environmental safety, social attractiveness, etc. The modern level of development of geo-information technologies allows for constant monitoring of the vehicle's speed mode. To obtain characteristics of the quality of traffic organization, experimental studies were conducted on a section of the street-road network of the city of Kharkiv, which corresponds to a typical route of personal transport from a remote sleeping area to the central part of the city.*

*As a result of data processing of the GPS track, a histogram of the distribution of instantaneous speed and graphs of the car's movement in the coordinates "time-distance", "time-speed", "distance-speed" were built, which allow you to visually assess the mode of movement along the entire route and determine potential "bottlenecks". Such spatio-temporal characteristics as average technical speed, specific time in motion, specific idle time, as well as energy indicators of the quality of traffic management were also calculated: acceleration noise, speed gradient, energy gradient. After dividing the experimental route into separate kilometer sections, changes in the characteristics of the quality of traffic organization as it approached the city center were analyzed. On the first half of the route, when moving along the main street, the instability of the speed regime was observed due to stops and idling in the zone of regulated intersections. The presence of a trend towards a decrease in the average technical speed when approaching the city center is explained by an increase in the loading of VDM within the central business part of the city and, as a result, the appearance of additional traffic delays. As we approached the city center, the specific time in motion increased with a slight increase in the specific idle time, and an increase in the speed gradient was also observed with a slight decrease in the energy gradient.*

**Key words:** traffic management, speed mode, average technical speed, speed change schedule, GPS tracks.

**Riabushenko Oleksandr** – PhD. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Department of Traffic Management and Road Safety, e-mail: [riabushenko79@ukr.net](mailto:riabushenko79@ukr.net)

**Sklyarov Mikola** – PhD. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Department of Armored Vehicles, e-mail: [nvsklyarov@ukr.net](mailto:nvsklyarov@ukr.net)

**Kashkanov Vitaly** – PhD. (Eng.), Assistant Professor, Associate Professor of Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: [kash\\_2004@ukr.net](mailto:kash_2004@ukr.net)