УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.2-170-180

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ ДЛЯ ОБЛІКУ ДОВЖИНИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

PRACTICAL ASPECTS OF USING SATELLITE NAVIGATION TO MEASURE THE LENGTH OF PUBLIC ROADS

Славінська Олена Сергіївна, *Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: elenaslavin9@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-9709-0078

Дуля Михайло Віталійович, *аспірант, молодший науковий співробітник відділу мостів Центру мостів та будівельних конструкцій, Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), Київ, Україна,*
e-mail: mykhailo.dulia@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-1916-8642

Анотація. У статті розглядаються актуальні питання інформаційного забезпечення дорожньої галузі України в контексті цифровізації та впровадження геоінформаційних систем. Відсутність достовірних даних щодо мережі автомобільних доріг, характеристик транспортних потоків, альтернативних рішень та їх наслідків негативно впливають на ефективність функціонування дорожньої інфраструктури. Основною метою є створення методу обліку автомобільних доріг на основі систематизованої бази актуальних просторових даних, що дозволяє обґрунтовано планувати заходи з утримання, ремонту та розвитку дорожньої мережі.

Використання GNSS-технологій (GNSS — Global Navigation Satellite System) дозволяє точно визначати просторові координати дорожніх об’єктів, а геометричне погіршення точності (PDOP — Position Dilution of Precision) є критичним показником точності позиціонування при роботі з лінійними об’єктами. Розглянута варіативність значень PDOP залежно від геометрії супутників та польових умов, а також описані методи зниження похибки при GPS-зйомці.

Окрему увагу приділено методичним рекомендаціям щодо розрахунку облікової довжини автомобільних доріг, розробленню цифрової моделі дорожньої мережі для створення передумов для інтеграції інтелектуальних транспортних систем, які широко використовуються у світовій практиці для оптимізації трафіку, збору плати за проїзд, управління паркуванням тощо.

Незважаючи на високий рівень теоретичної готовності галузі, реалізація зазначених заходів ускладнена через обмеженість фінансування, зумовлену воєнним станом. Водночас впровадження цифрових рішень є стратегічно важливим для забезпечення ефективного управління дорожнім господарством у довгостроковій перспективі.

Ключові слова: автомобільна дорога, облік довжини, геопросторові дані, супутникова навігація, координатна площина, лінійна прив'язка, похибка, цифрова модель.

Вступ. Відсутність достовірної інформації щодо довжини мережі автомобільних доріг, характеристик транспортних потоків, наявних альтернативних рішень, їх ймовірності та потенційних наслідків, а також відсутність раціональної системи ранжування пріоритетів за критерієм важливості — є чинниками, що мають негативний вплив на технічний стан та ефективність функціонування дорожньої інфраструктури.

Основною метою інформаційного забезпечення дорожньої галузі є формування систематизованого масиву актуальних, комплексних даних щодо автомобільних доріг, інфраструктурних об'єктів, елементів дорожнього сервісу, характеристик транспортних потоків, а також природних і техногенних чинників. Така інформація є критично необхідною для обґрунтованого планування, організації та реалізації заходів, спрямованих на забезпечення максимально ефективного використання наявних фінансових ресурсів у сфері дорожнього господарства.

Процес формування альтернативних варіантів рішень та прийняття обґрунтованого управлінського рішення у сфері дорожнього господарства можливий виключно за наявності комплексної інформації про технічний та експлуатаційний стан автомобільної дороги або мережі доріг. Достовірність такої інформації безпосередньо залежить від об'єктивності та актуальності первинних даних, що використовуються на момент прийняття відповідного рішення.

Метою роботи є аналізування практичних аспектів використання супутникової навігації для обліку довжини автомобільних доріг в Україні на основі сучасних досліджень технологій у галузі.

Виклад основного матеріалу. У 2016–2023 роках Агентством відновлення було реалізовано проєкти із визначення просторових координат мережі міжнародних, національних, регіональних та територіальних автомобільних доріг загального користування державного значення за допомогою GNSS-технологій. Їх використання має ряд особливостей при вимірюванні лінійних об'єктів і потребує певного теоретичного підґрунтя для належного виконання робіт та точності вимірювань.

Супутникова навігація ґрунтується на прийманні сигналів від супутників за допомогою сигналів GNSS/GPS, що транслюються в L-діапазоні (зазвичай це частоти 1–2 ГГц). L-діапазон складається з двох основних частин: нижньої (від 1164 до 1300 МГц) і верхньої (від 1559 до 1610 МГц). Більшість супутникових систем передають свої дані, використовуючи ці дві смуги діапазону.

GPS-приймач отримує сигнали від щонайменше 4 супутників. На основі тривимірної геометрії (довжина, ширина, висота) між супутниками та приймачем, він обчислює матрицю геометричного розташування. З цієї матриці виводиться PDOP — як коефіцієнт, що показує, наскільки геометрія супутників впливає на точність позиції.

PDOP (Position Dilution of Precision) — це просторове погіршення точності, термін, який використовується в супутникових навігаційних системах, таких як GPS. PDOP вимірюється автоматично GPS-приймачем на основі геометричного розташування супутників, які для нього доступні у даний момент часу, його математичний розрахунок базується на координатах супутників і їхньому розташуванні відносно користувача. Він є одним із коефіцієнтів, які оцінюють якість супутникової геометрії: PDOP враховує тривимірне положення: широту, довготу та висоту (характеризує погіршення точності позиції в тривимірному просторі); HDOP — горизонтальне погіршення точності (широта та довгота); VDOP —погіршення точності по вертикалі (висота); GDOP — геометричне погіршення точності (включає час) [1].

Низьке значення PDOP свідчить про необхідну геометрію розташування штучних супутників на середній круговій орбіті Землі, що забезпечує високу точність (рис. 1,а), натомість, високе значення свідчить про скупченість штучних супутників у певному сегменті орбіти Землі, і відповідно, зниження точності (рис. 1,б).

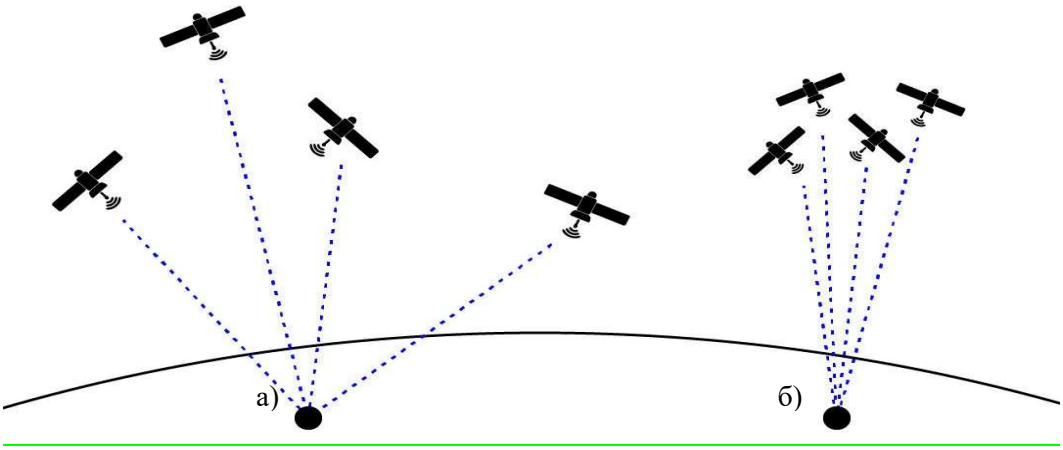

Рисунок 1 – Варіанти розташування штучних супутників на середній круговій орбіті Землі
Figure 1 – Options for the location of artificial satellites in the Earth's medium circular orbit

Значення PDOP залежно від позиціонування штучних супутників можна поділити на такі: 1–2 — при ідеальній геометрії супутників; 2–5 — прийнятне для більшості задач; 5–10 — значно впливає на точність вимірювань; більше 10 — вимірювання ненадійне. Значення PDOP також залежить і від польових умов, наприклад: у відкритому полі, за умови видимості достатньої кількості супутників — ідеальна точність (PDOP < 2); за умови часткового перекриття неба лісовими насадженнями — задовільна точність (PDOP 3–5); за умови високої та щільної міської забудови — незадовільна геометрія супутників, висока похибка (PDOP >6).

У геодезичних GPS-пристроях PDOP постійно відображається на екрані. Наприклад, Trimble, Leica, Topcon — всі показують PDOP у реальному часі. Оператор може встановити поріг PDOP: наприклад, не записувати координати, якщо PDOP > 4. У GIS-програмах (наприклад, ArcGIS, QGIS) можна імпортувати дані з GPS, де PDOP зберігається як атрибут кожної точки.

На PDOP впливає геометрія супутників, їх кількість, атмосферні умови, ефект багатошляховості (Multipath) та дані про орбіти супутників (ефемериди).

Найголовніший фактор — це розташування супутників на небі. Якщо супутники розкидані по всьому небосхилу, PDOP буде низьким, а точність — високою. Якщо супутники згруповані в одному секторі, PDOP зростає, і точність погіршується. Чим більше супутників доступно для приймача, тим точніше визначається положення. Але навіть велика кількість супутників не гарантує низький PDOP, якщо їх геометрія невдала. Іоносфера та тропосфера можуть викривляти GPS-сигнали, змінюючи їх швидкість і напрямок, що викликає рефракцію та впливає на точність розрахунків. Сигнал може відбиватися від будівель, дерев або гір, перш ніж потрапити до приймача, що створює помилкові дані. GPS базується на надточному вимірюванні часу, і якщо годинник супутника має похибку, даний фактор може спричинити помилку в позиціонуванні на кілька метрів.

Для зниження PDOP під час GPS-зйомки і покращення точності позиціонування можна використовувати планувальники супутників (наприклад, GNSS Planning Software), щоб визначити

періоди з низьким PDOP. Більшість професійних GPS-приймачів дозволяють встановити поріг PDOP, при перевищенні якого зйомка не проводиться, що дозволяє уникнути збору неточних даних. Зберігання PDOP як атрибут кожної точки дозволяє відфільтрувати неточні дані при обробці в GIS або CAD-системах.

Високі будівлі, вузькі вулиці, металева інфраструктура — можуть серйозно впливати на PDOP, погіршуючи геометрію супутників і точність GPS. Проте є способи мінімізувати цей вплив шляхом встановлення антени на штатив або дах авто, щоб уникнути екранування сигналу будівлями чи людьми; використання високоякісних антен з круговою діаграмою прийому; налаштування порогового значення PDOP (наприклад, < 4), для автоматичного відхилення запису неточних вимірювання; збір сирих даних (RINEX) і обробляння їх у спеціалізованих програмах, де можна виключити точки з високим PDOP. GPS-приймачі, що працюють лише в L1, порівняно з приймачами L1/L5 в міських умовах, показують, що приймачі L1/L5 забезпечують кращу точність, але лише за наявності багатопроменевих сигналів (рис. 2) [2]. При цьому L1/L5 забезпечує більшу стійкість до багатопроменевих завад, що підвищує надійність і стабільність навігації, особливо в умовах щільної міської забудови.

Рисунок 2 – Якість даних за умови використання GPS-приймача однодіапазонного L1 (помаранчевий) та дводіапазонного L1/L5 (зелений)

Figure 2 – Data quality when using a single-band L1 (orange) and dual-band L1/L5 (green) GPS receiver

З метою вдосконалення інформаційного забезпечення дорожньої галузі, Агентством відновлення впродовж 2009-2018 років було впроваджено низку галузевих стандартів [4-6]. На їхній основі, базуючись на досвіді виконання робіт з паспортизації та визначення просторових даних автомобільних доріг у 2016- 2024 роках було розроблено і прийнято наказом від 09.07.2025 № 119

серію національних стандартів з наданням чинності з 01.12.2025, які регламентують функціонування Єдиної бази даних автомобільних доріг України (ЄБД) [7-9]. Вона забезпечує централізоване електронне збирання, зберігання та обробку інформації щодо автомобільних доріг загального користування державного значення та їх складових об'єктів. Це, у свою чергу, створює передумови для автоматизованого формування статистичних розрізів, необхідних для управлінських та аналітичних цілей.

Довжина певної ділянки дороги визначається як сума відстаней між суміжними точками осі крайової смуги прямого напрямку руху, для яких були визначені просторові координати. Відстань між двома суміжними точками розраховується за формулою:

$$l_{(i-j)} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2 + (Z_i - Z_j)^2)} \quad (1)$$

де:

$l_{(i-j)}$ – відстань між та точками, м;

X_i , Y_i , Z_i – просторові координати i – точки;

X_j , Y_j , Z_j – просторові координати j – точки.

Розрахунки довжин ведуться у метровому вимірі, з трьома значущими цифрами після коми.

Проїзна частина автомобільної дороги складається з:

— основних смуг руху з додатковими смугами руху на підйомах;

— з'їздів транспортних розв'язок.

Однією з особливостей перевірки даних за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення [10], було згладжування висотних відміток шляхом спрямлення послідовних трійок вузлів на ділянках доріг з недопустимою рівністю. Дана функція дійсна лише для відміток повздовжнього профілю та є доцільною при обробці даних знімання дороги з недопустимою рівністю, коли реальні відмітки приховують тренд повздовжніх похилів, що був закладений проектом дороги. У випадку коли стан дороги задовільний, при масовому вживанні цієї функції можливо втратити дійсні екстремальні точки перелому поверхні дороги — на вершинах опуклих та увігнутих вертикальних кривих, місця просадок покриття на трубах, небезпечні та недопустимі перелами повздовжнього профілю при в'їзді на мостові споруди.

Розрахунок відміток при згладжування вузлів проводиться за формулою:

$$H_{i+1} = H_i + (\frac{H_{i+2} - H_i}{KM +_{i+2} - KM +_i} \times (KM +_{i+1} - KM +_i)) \quad (2)$$

де:

$KM +_{i+1}$ – лінійна прив'язка шуканого вузла, м;

H_{i+1} – висотна відмітка шуканого вузла, м.

Алгоритм розрахунків згладжування висотних відміток шляхом спрямлення послідовних трійок вузлів полягає в циклічному рішенні формули (2) для послідовних трійок вузлів заданої ділянки просторових координат автомобільної дороги.

В рамках робіт з узагальнення інформації щодо просторових координат автомобільних доріг державного значення [11, 12], була проведена глобальна перевірка отриманих результатів, зведення їх

у єдину мережу за принципом просторової полігонометрії, з подальшим узгодженням меж між областями. В процесі робіт були визначені просторові координати осей правих проїздів прямого та зворотного напрямків руху для автомобільних доріг міжнародного значення — 9 197,11 км, національного — 7 277,14 км, регіонального — 9 477,14, територіального — 19 745,37 км та з'їздів їх транспортних розв'язок в одному та декількох рівнях.

Зібрані та перевірені просторові дані було використано для створення просторової основи (рис.3), яка дозволить точно локалізувати та систематизувати всю інформацію про дорожню інфраструктуру та транспортні потоки, та відкриє доступ до ряду можливостей для реалізації потреб, а саме:

— власникам автомобільних доріг — для забезпечення більшої точності у зборі, систематизації та аналізі інформації про дорожню мережу, її об'єкти та споруди, транспортні потоки й події; а також для публічного розкриття відповідних даних;

— учасникам дорожнього руху — з метою точного визначення власного місцезнаходження відносно дороги, особливо у випадках, коли необхідно оперативно повідомити про нього екстреним службам через голосовий зв'язок, наприклад, при ДТП;

— екстреним службам — для ефективного опрацювання звернень громадян, планування маршрутів реагування та забезпечення оперативності дій;

— громадським організаціям — для аналізу звітної інформації щодо технічного стану автомобільних доріг та виконаних ремонтних робіт, яку надають балансоутримувачі.

—

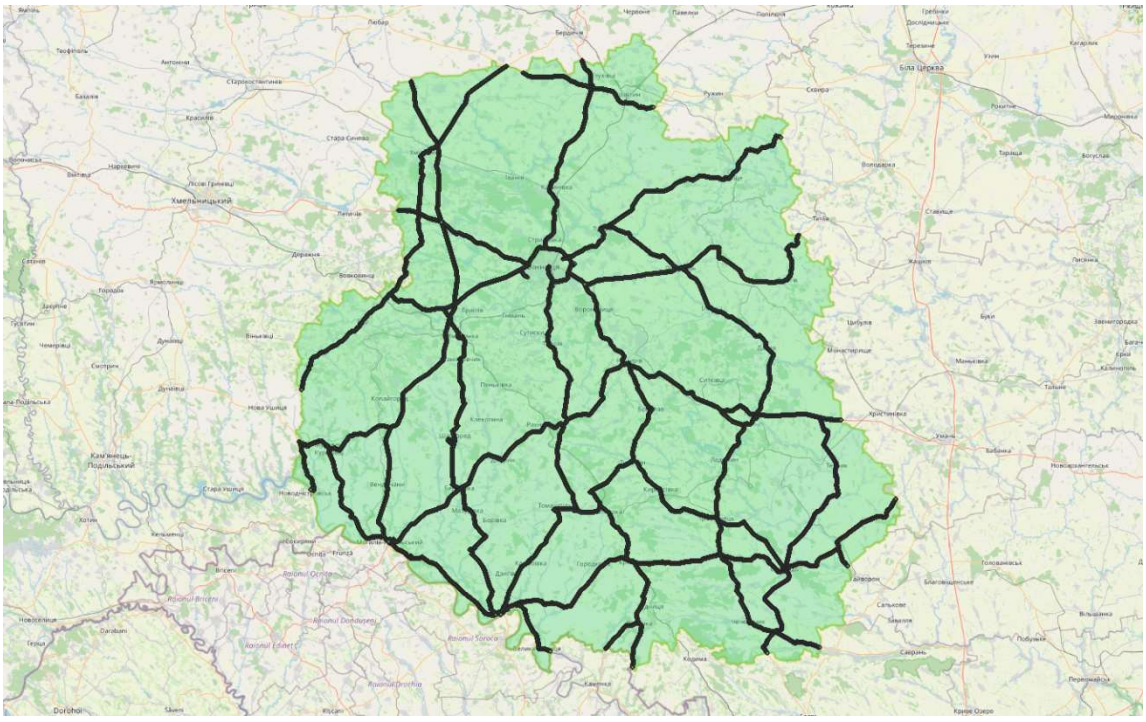

Рисунок 3 – Візуалізація просторових даних автомобільних доріг зібраних GPS-приймачами у межах Вінницької області

Figure 3 – Visualization of spatial data of roads collected by GPS receivers within Vinnytsia region

За результатами виконання роботи було розроблено методичні рекомендації розроблені для розрахунку облікової довжини автомобільних доріг загального користування в односмуговому обчисленні [13], призначені для використання у статистичній звітності про мережу автомобільних доріг загального користування і при плануванні видатків на дорожні роботи [14]. Довжина автомобільної дороги, визначена як сума довжин:

— кожної основної смуги в прямому та зворотному напрямкам руху, додаткових смуг на підйомах, (в тому числі для підходів та обходів населених пунктів);

— зовнішніх та внутрішніх перехідно-швидкісних смуг;

— кожної смуги руху з'їздів транспортних розв'язок в різних або в одному рівні.

Рекомендації призначені для використання при веденні статистичної звітності. У них наведені приклади визначення початку/кінця окремих елементів автомобільної дороги для правильного розрахунку довжини цих елементів в односмуговому обчисленні. Наведені схеми для можливості встановлення точної довжини транспортних розв'язок в одному (рис. 4) та різних рівнях, додаткових смуг руху, перехідно-швидкісних смуг тощо. Це допоможе забезпечити встановлення обсягів робіт з визначення транспортно-експлуатаційних характеристик автомобільних доріг (рівність, міцність, коефіцієнт зчеплення), обсягів нового будівництва, реконструкції, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг. А також, стимулювати запровадження механізмів, які сприятимуть раціональному плануванню державних видатків на нове будівництво, реконструкцію, ремонти та експлуатаційне утримання автомобільних доріг.

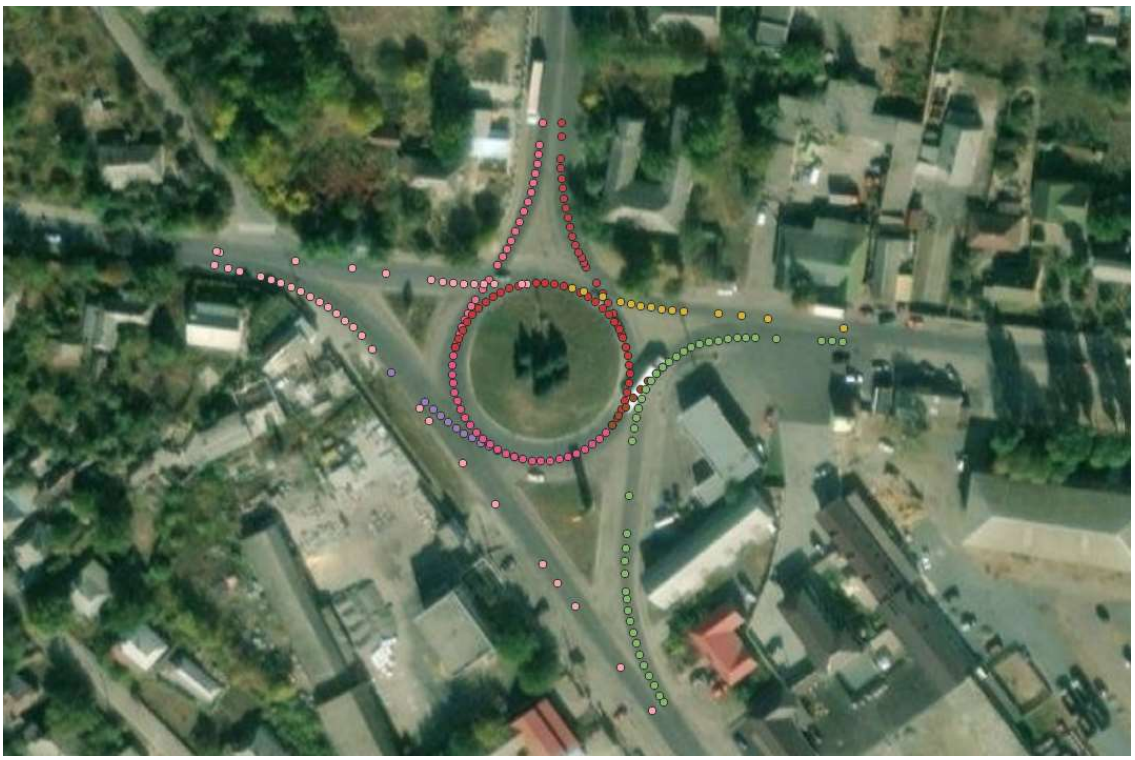

Рисунок 4 – Візуалізація просторових даних з’їздів транспортної розв’язки типу «кільце» автомобільних доріг

Figure 4 – Visualization of spatial data of road junction exits of the «ring» type

Першочергове створення цифрової моделі мережі автомобільних доріг згідно п. 6.2.2 [6] відбувалося шляхом визначення просторових координат осей правих проїздів прямого та зворотного напрямків руху [11, 12]. Оцінка точності отриманих результатів була здійснена при порівнянні результатів паспортизації автомобільної дороги М-05 Київ – Одеса в межах Київської області у 2024 році [15]. Таким чином, для прямого напрямку руху було отримано похибку у 1,831 м, а для зворотного напрямку руху — 1,974 м, на ділянці довжиною 75 243,280 м у порівнянні з даним визначення просторових координат осей правих проїздів прямого та зворотного напрямків руху 2016 – 2023 років. Що свідчить про загальну похибку вимірювань на даній ділянці у відсотковому співвідношенні — 0,0026 %.

У світовій практиці дуже широко використовуються різноманітні інтелектуальні транспортні системи, вони вирішують велику кількість різноманітних проблем від упорядкування трафіку, зняття вартості за проїзд, до виділення місць для паркування та цифрової ідентифікації. Просторові дані полегшують формування матриць зв'язків та матриць відстаней, алгоритмів нарахування пробігу вантажних транспортних засобів для системи справляння плати за проїзд автомобільними дорогами та інших систем [16].

На сучасному етапі розвитку дорожньо-транспортної інфраструктури України спостерігається високий рівень теоретичної та методологічної готовності галузі до широкомасштабного впровадження системи інформаційного забезпечення управління дорожнім господарством. Зазначена система має потенціал стати ключовим інструментом у процесі прийняття обґрунтованих управлінських рішень, що стосуються експлуатаційного утримання, планування ремонтних заходів та стратегічного розвитку мережі автомобільних доріг. Її інтеграція у практику управління дозволить суттєво підвищити ефективність використання матеріальних і фінансових ресурсів, оптимізувати процеси технічного обслуговування та сприяти формуванню довгострокових програм розвитку транспортної інфраструктури.

Висновки

Визначені, перевірені та систематизовані дані просторових координат осей правих проїздів прямого та зворотного напрямків руху автомобільних доріг дозволили здійснити облік їх довжини та систематизувати у базі даних: для доріг міжнародного значення — 9 197,11 км, національного — 7 277,14 км, регіонального — 9 477,14, територіального — 19 745,37 км та з'їздів їх транспортних розв'язок в одному та декількох рівнях. Однак, їх повний облік у односмуговому обчисленні можливий лише при повноцінному виконанні робіт з паспортизації автомобільних доріг, що є тривалим та ресурсоємним процесом.

Оцінка точності отриманих результатів була здійснена порівнянням з результатами паспортизації автомобільної дороги М-05 Київ – Одеса в межах Київської області у 2024 році. Таким чином, для прямого напрямку руху було отримано похибку у 1,831 м, а для зворотного напрямку руху — 1,974 м, на ділянці довжиною 75 243,280 м. Що свідчить про загальну похибку вимірювань на даній ділянці у відсотковому співвідношенні — 0,0026 %.

У сучасних умовах розвитку дорожньої галузі України, впровадження цифрових моделей дорожньої мережі, геоінформаційних систем та інтелектуальних транспортних технологій є стратегічно необхідним кроком для забезпечення ефективного управління інфраструктурою, раціонального використання ресурсів і формування обґрунтованих рішень щодо утримання, ремонту та розвитку автомобільних доріг, незважаючи на фінансові обмеження, зумовлені воєнним станом.

Перелік посилань

1. Точність GPS: HDOP, PDOP, GDOP . Режим доступу: https://gisgeography.com/gps-accuracy-hdop-pdop-gdop-multipath/.

2. Сучасні GNSS/GPS діапазони: перехід від односмугових до двосмугових. Режим доступу: https://www.chipnews.com.ua/userfiles/file/2-2024%20CHIP%20NEWS/26-31%20pages%20from%20Chip News_UA_02-2024.pdf.

3. Корощенко, М. М., Корніюк, В. Я. (2023). Точність визначення навігаційних параметрів та безпека кораблеводіння. Морська безпека та оборона, (2), 92-98. https://doi.org/10.32782/msd/2023.2.14.

4. СОУ 42.1-37641918-038:2016 Паспорт автомобільної дороги (зі Зміною №1).

5. СОУ 42.1-37641918-063:2016 Геоінформаційна система автомобільних доріг Вимоги до складу, змісту та застосування.

6. СОУ 42.1-37641918-122:2014 Автомобільні дороги. Вимоги до комплексу робіт з інформаційного забезпечення (зі Зміною №1).

7. ДСТУ 9332-1:2025 «Геоінформаційна система автомобільних доріг загального користування. Частина 1. Склад, зміст та вимоги до наборів даних».

8. ДСТУ 9332-2:2025 «Геоінформаційна система автомобільних доріг загального користування. Частина 2. Вимоги до збирання даних».

9. ДСТУ 9332-3:2025 «Геоінформаційна система автомобільних доріг загального користування. Частина 3. Вимоги до відображень».

10. Дуля М.В. Розроблення програмного модуля для перевірки та коригування просторових координат автомобільних доріг. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Київ, 2024. Вип. 115. Частина 2. С. 180–189.

11. Іванченко В.О., Дуля М.В. та ін. Звіт про науково-дослідну роботу «Узагальнити інформацію щодо просторових координат автомобільних доріг державного значення та розробити базу даних географічних координат з ув’язкою їх в єдину мережу для уточнення протяжності і кілометрової прив’язки», Київ: ДерждорНДІ, 2021, 102 с.

12. Дуля М.В. Гресько І.Л. та ін. Звіт про науково-дослідну роботу «Узагальнити інформацію щодо просторових координат територіальних автомобільних доріг державного значення та доповнити базу даних географічних координат з ув’язкою їх в єдину мережу для уточнення протяжності і кілометрової прив'язки», Київ: ДерждорНДІ, 2023, 84 с.

13. МР А.2.1-37641918-904:2019 Методичні рекомендації з обліку довжини автомобільних доріг загального користування в односмуговому обчисленні.

14. Усиченко О. Ю., Дуля М. В. Запровадження національної системи обліку довжини автомобільних доріг в односмуговому обчисленні. Дороги і мости. Київ, 2024. Вип. 29. С. 139–147.

15. Вознюк А. Б., Дуля М. В. Практичні аспекти перевіряння та аналізування наборів геопросторових даних про автомобільні дороги загального користування. Дороги і мости. Київ, 2025. Вип. 31. С. 149–162.

16. Гуков М. І., Дуля М. В. До проблеми визначення пройденого шляху для розрахування плати за проїзд автомобільними дорогами. Дороги і мости. Київ, 2024. Вип. 30. С. 264–272.

17. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.

18. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів.

19.Геодані про дороги державного значення тепер доступні у відкритому доступі та у зручному форматі. Режим доступу: https://www.facebook.com/agency.for.restoration/posts/pfbid02odALAr2phAGASSvxi3mAZ8G6Uf6b6vUkLc3cpsZjPKBdhacYEdhQqoC9E7FQ23dXl.

20.Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних».

21.Закон України «Про захист інформації в автоматизованих системах».

PRACTICAL ASPECTS OF USING SATELLITE NAVIGATION TO MEASURE THE LENGTH OF PUBLIC ROADS

Slavinska Olena S., Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the department of Transport construction and property management,
e-mail: elenaslavin9@gmail.com, tel.: +380509698109, http://orcid.org/0000-0002-9709-0078

Dulia Mykhailo V., State enterprise «National Institute for Development of Infrastructure (SE «NIDI»), Junior Researcher Fellow at the Digitalization Development Devision , Kyiv, Ukraine,
e-mail: mykhailo_dulia@gmail.com, tel.+380939203254, https://orcid.org/0000-0002-1916-8642.

Summary. The article discusses topical issues of information support for the road industry in Ukraine in the context of digitalization and the introduction of geographic information systems. The lack of reliable data on the road network, traffic characteristics, alternative solutions, and their consequences negatively affects the efficiency of road infrastructure. The main goal is to create a method for accounting for motorways based on a systematized database of relevant spatial data, which allows for the rational planning of measures for the maintenance, repair, and development of the road network.

The use of GNSS (Global Navigation Satellite System) technologies allows for the accurate determination of the spatial coordinates of road objects, and the PDOP (Position Dilution of Precision) coefficient is a critical indicator of positioning accuracy when working with linear objects. The variability of PDOP values depending on the geometry of satellites and field conditions is considered, and methods for reducing errors in GPS surveying are described.

Special attention is paid to methodological recommendations for calculating the accounting length of motorways and developing a digital model of the road network to create the prerequisites for the integration of intelligent transport systems, which are widely used in global practice to optimise traffic, collect tolls, manage parking, etc.

Despite the high level of theoretical readiness of the industry, the implementation of these measures is complicated by limited funding due to the state of war. At the same time, the introduction of digital solutions is strategically important for ensuring effective road management in the long term.

Keywords: highway, length measurement, satellite navigation, coordinate plane, linear reference, spatial data, error, digital model.

References

1. GPS accuracy: HDOP, PDOP, GDOP. Access mode: https://gisgeography.com/gps-accuracy-hdop-pdop-gdop-multipath/.

2. Modern GNSS/GPS bands: transition from single-band to dual-band. Access mode: https://www.chipnews.com.ua/userfiles/file/2-2024%20CHIP%20NEWS/26-31%20pages%20from%20ChipNews_UA_02-2024.pdf.

3. Koroshchenko, M. M., Korniuk, V. Ya. (2023). Accuracy of navigation parameter determination and navigation safety. Maritime Safety and Defense, (2), 92-98. https://doi.org/10.32782/msd/2023.2.14.

4. SOU 42.1-37641918-038:2016 Motorway passport (with Amendment No. 1).

5. SOU 42.1-37641918-063:2016 Geoinformation system for motorways. Requirements for composition, content, and application.

6. SOU 42.1-37641918-122:2014 Motorways. Requirements for the complex of works on information support (with Amendment No. 1).

7. DSTU 9332-1:2025 "Geographic information system of public motorways. Part 1. Composition, content, and requirements for data sets."

8. DSTU 9332-2:2025 “Geographic information system for public roads. Part 2. Requirements for data collection.”

9. DSTU 9332-3:2025 “Geographic information system for public roads. Part 3. Requirements for displays.”

10. Dulia M.V. Development of a software module for checking and correcting the spatial coordinates of motorways. Motorways and road construction. Kyiv, 2024. Issue 115. Part 2. pp. 180–189.

11. Ivanchenko V.O., Dulia M.V. et al. Report on the research work "Generalize information on spatial coordinates of roads of state importance and develop a database of geographical coordinates with their linking into a single network to clarify the length and kilometer reference", Kyiv: "DerzhdorNDI", 2021, 102 p.

12. Dulia M.V., Hresko I.L., et al. Report on research work “Summarize information on the spatial coordinates of territorial motorways of national importance and supplement the database of geographical coordinates by linking them into a single network to clarify the length and kilometer reference,” Kyiv: DerzhdorNDI, 2023, 84 p.

13. MR A.2.1-37641918-904:2019 Methodical recommendations for accounting the length of public roads in single-lane calculation.

14. Usychenko O. Yu., Dulia M. V. Introduction of a national system for recording the length of motorways in single-lane calculation. Roads and Bridges. Kyiv, 2024. Issue 29. Pp. 139–147.

15. Voznyuk A. B., Dulia M. V. Practical aspects of checking and analyzing geospatial data sets on public roads. Roads and Bridges. Kyiv, 2025. Issue 31. Pp. 149–162.

16. Gukov M. I., Dulia M. V. On the problem of determining the distance traveled for calculating tolls on public roads. Roads and Bridges. Kyiv, 2024. Issue 30. Pp. 264–272.

17. DBN V.2.3-4:2015 Public Roads. Part I. Design. Part II. Construction.

18. DBN V.2.3-5:2018 Streets and roads in populated areas.

19. Geodata on roads of national importance is now available in open access and in a convenient format. Access mode: https://www.facebook.com /agency.for.restoration/posts/pfbid02odALAr2phAGASSvxi3mAZ8G6Uf6b6vUkLc3cpsZjPKBdhacYEdhQqoC9E7FQ23dXl.

20. Law of Ukraine “On National Geospatial Data Infrastructure.”

21. Law of Ukraine “On Information Protection in Automated Systems.”