

Олег Дмитриков

здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти кафедри фізичної географії та картографії,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна
e-mail: oleg.dmytrykov@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9717-2033>

ПОНЯТТЯ ТОЧНОСТІ КАРТ АВТОТРАНСПОРТНИХ ШЛЯХІВ УКРАЇНИ: ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ

У статті робиться наголос на подальшому розгляді підходів до удосконалення точності карт автотранспортних шляхів в аспекті їх геодезичного та економічного виміру. Дотепер, попри визначення параметрів геометричної позиційної точності та опис методів збирання первинних даних шляхом лазерного сканування та GNSS-знімання, ми ще не приділяли належної уваги комплексній оцінці економічних наслідків картографічних похибок.

Актуальність досліджень точності моделювання транспортних шляхів вимагає новітніх методів математичного моделювання похибок – від розрахунку середньоквадратичної похибки (СКП) для маршрутів до порівняння різних джерел просторової інформації. Виходячи з цього, метою статті є подання методологічних основ і рекомендацій для створення і вдосконалення геодезичної, математичної та інформаційної бази карт автомобільних доріг, а також висвітлення економічних переваг та результатів оптимізації транспортної логістики.

Відповідно до досвіду попередніх напрацювань пропонується тезовий опис алгоритму оцінки втрат та збитків від неточних карт, що базується на відносному відхиленні довжин маршрутів та показниках СКП. Детально розглянуто вплив геометричних спотворень у картографічних матеріалах та їх коригування шляхом використання даних лазерного сканування. Наводяться приклади успішних практик, де точніші карти дозволили скоротити втрати та збитки.

Підкреслено важливість запровадження рекомендацій щодо моделювання карт і використання скоригованих методів відтворення дорожньої мережі в єдиній базі даних. Такий підхід відповідає постулатові про необхідність системної актуалізації картографічних даних, що дозволяє формалізувати та кількісно оцінити атрибутивні характеристики автотранспортних шляхів у національній мережі.

Ключові слова: економічні наслідки, точність карт, картографічне моделювання автомобільних шляхів, картографічна похибка, логістичні витрати, лідарні дані, геодезична основа карт автошляхів.

Як цитувати: Дмитриков, О. (2024). Поняття точності карт автотранспортних шляхів України: економічний аспект. *Часопис соціально-економічної географії*, 37, 91-99. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2024-37-09>

In cites: Dmytrykov, O. (2024). The concept of accuracy of road maps in Ukraine: economic aspect. *Human Geography Journal*, 37, 91-99. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2024-37-09> [in Ukrainian].

Вступ. Точні карти автомобільних шляхів є необхідною умовою ефективного управління транспортними потоками та логістикою перевезень. Від достовірності картографічної інформації залежить якість маршрутизації, планування інфраструктурних проектів та безпека руху. Проте в Україні та світі часто спостерігаються випадки, коли застарілі чи неточні карти автошляхів призводять до нераціональних витрат палива, часу та фінансових збитків. Особливо актуальною є ця проблема в контексті зростання обсягів вантажних перевезень й інтеграції України в європейську транспортну систему [1]. Неточність карт може спричиняти відхилення маршрутів, простої транспорту, перевитрати пального та прискорений знос інфраструктури, що негативно впливає на економічні показники галузі. Прямий зв'язок між точністю картографічної візуалізації та економічними витратами на транспорт є очевидним.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є визначення сутності поняття «точність карт автотранспортних шляхів» та оцінка економічних наслідків неточності вихідних даних для картографування автомобільного транспорту України. Для досягнення цієї мети поставлено такі

завдання: 1) порівняти точність сучасних цифрових карт автомобільних доріг онлайн-ресурсів Google Maps, OpenStreetMap та GraphHopper із реальними даними; 2) дослідити економічні втрати, що виникають через похибки на картах, зокрема в логістиці та державному секторі; 3) розробити методику розрахунку фінансових втрат, пов'язаних із картографічною неточністю; 4) запропонувати практичні заходи для підвищення точності картографічного моделювання автомобільних шляхів з ціллю мінімізації збитків та втрат.

Методологія. Дослідження ґрунтується на аналізі наукових і технічних джерел, порівняльному аналізі даних різних картографічних сервісів, а також на розрахунковому моделюванні впливу картографічних похибок на паливні, часові витрати та фінансові збитки. Використано підхід оцінки точності шляхом співставлення координат і довжин маршрутів на картах з даними геодезичних вимірювань, обчислення середньоквадратичних похибок та екстраполяції отриманих похибок на економічні показники. Інформаційну базу склали наукові публікації, звіти транспортних компаній, державні нормативні документи та відкриті картографічні дані.

Виклад основного матеріалу дослідження. Точність карти визначається ступенем відповідності картографічного зображення реальним розмірам об'єктів місцевості за положенням, формою та атрибутами. Розрізняють геометричну або позиційну точність, часову актуальність даних та атрибутивну точність карти [13].

Геометрична точність характеризує похибку у визначенні координат точок і вимірюванні відстаней на місцевості та за картою. Вона тісно пов'язана з масштабом і генералізацією, тобто, що більший масштаб, то вища потенційна точність карти. Для масштабу 1:10 000 гранична планова похибка становить близько 1 м, тоді як для масштабу 1:100 000 – 10 м [11]. Цю залежність закріплено в стандартах, де вказано, що цифрові моделі місцевості повинні забезпечувати точність положення об'єктів, еквівалентну точності топографічних карт відповідного масштабу [13]. Також зазначено, що атрибутивна точність відображає правильність несуттєвих, не кількісних ознак та значень показників таких об'єктів як назви доріг, категорій покриття тощо, а актуальність — це своєчасність оновлення даних. Вимоги до актуальності, достовірності, повноти й точності геопросторових даних закріплені на законодавчому рівні і є одними із принципів національної інфраструктури геопросторових даних України [2], які базуються на міжнародних стандартах [23].

Для оцінювання позиційної точності застосовують статистичні показники, зокрема середньоквадратичну похибку (СКП), на основі якої можуть встановлюватися допустимі межі похибок. За стандартом NSSDA у США реальні горизонтальну та вертикальну точність карти вимірюють використовуючи СКП як базовий показник [14]. В Україні, згідно нормативів і технічних умов, для бази топографічних даних регламентована точність координат та висот об'єктів залежно від їх категорії і масштабового ряду карти [13]. Згідно з цими вимогами, положення дорожньої мережі на великомасштабних картах з масштабами від 1:10 000 до 1:50 000 має бути визначено з похибками не більше кількох метрів, а на дрібномасштабних оглядових картах допустимі похибки в десятки метрів.

Сучасні цифрові карти автомобільних шляхів доступні онлайн, але кожна відрізняється за джерелами даних та рівнем точності. *Google Maps* базується на поєднанні даних аерофотознімання, супутникових знімків високої роздільної здатності та власних польових перевірок, включно із даними лазерного сканування та GPS-треків. Якісна геодезична прив'язка зображень ресурсу *Google Maps* дозволяє досягти планової точності метр і нижче у розвинених країнах, хоча на віддалених територіях можливі більші похибки до 5, а інколи 10 та більше метрів. *OpenStreetMap (OSM)* – відкрита краудсорсингова карта, точність якої залежить від внеску волонтерів та доступних геоданих. Дослідження точності даних OSM показало, що середня позиційна похибка у 1,57 м відповідає

деталізації плану масштабу 1:5 000 [18]. У разі атрибутивної точності якість OSM не є рівномірною. Встановлено, що назви та класи основних магістралей на території Франції відповідають дійсності майже на 100%, тоді як для другорядних шляхів лише на 49% [20]. Це вказує на можливі прогалини в даних про регіональні та територіальні дороги. Також існують комерційні навігаційні системи для вантажного транспорту, спеціально оптимізовані для потреб перевізників. Вони мінімізують ризик помилкового прокладання шляху, але часто базуються на відкритих даних, тож залежать від актуальності інформації і потребують регулярного оновлення.

Шляхом порівняння даних різних картографічних онлайн-сервісів з польовими даними встановлено, що похибки при визначенні довжин маршрутів відповідають вимогам до точності топографічних карт і складають до кількох відсотків. Наприклад, різниця між відстанями за *Google Maps* і фактичними геодезичними вимірами може становити 1–3% на типових маршрутах в залежності від місцевості та актуальності даних. Невеликі похибки в кілька процентів здатні накопичуватися в масштабах великих автопарків або державної дорожньої мережі, що зумовлює значні економічні збитки. Проведене на кафедрі фізичної географії та картографії Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна дослідження показало, що для автодоріг в США розбіжності між офіційними даними та онлайн-сервісами складають до 2% від загального горизонтального прокладання дороги, тоді як в Україні відхилення коливаються від -15% до +20%.

Точність карт автомобільних шляхів прямо залежить від точності геодезичних даних. Одним із сучасних методів оновлення геоданих є лазерне сканування на основі технології активного дистанційного зондування поверхні LiDAR. Вона дозволяє отримувати високоточні тривимірні моделі місцевості шляхом детальної фіксації геометрії доріг, узбіч, дорожніх знаків тощо з точністю до кількох сантиметрів за допомогою спеціалізованих мобільних сканерів. Технологія є надзвичайно ефективною для картографування складного рельєфу та важкодоступних ділянок, де традиційна геодезична зйомка ускладнена [19]. При створенні карт автомобільних доріг ця технологія дозволяє суттєво підвищити їхню точність. Дослідження, проведене на території штату Північна Кароліна, показало, що додавання даних лазерного знімання при визначенні довжин дорожніх відрізків підвищує точність оцінки на 28% порівняно з використанням лише стандартних висотних моделей та оцифрованих даних [16, 17].

Широко використовуються такі традиційні методи як тахеометрична зйомка та GNSS-спостереження високої точності для створення опорних геодезичних мереж і детального вимірювання дорожніх об'єктів. Інженерно-геодезичне забезпечення будівництва доріг включає трасування і зйомку, що дає можливість отримати

координати ключових точок траси з сантиметровою точністю. Ці дані є еталонними, але їх отримання трудомістке і дороговартісне, а тому геодезичне знімання частіше проводиться для новозбудованих доріг або вибіркового контролю точок існуючої мережі.

Успішно розвивається аеро- та космічна фотограмметрія і методи дистанційного зондування. Сучасні супутникові системи здатні отримувати зображення з роздільною здатністю 0,3–0,5 м, що після ортотрансформування забезпечує планову точність порядку 1–2 м [12]. На знімках можна виявити нові дороги, розв'язки, зміни траси, що швидко актуалізує ситуацію. Автоматизовані алгоритми розпізнавання доріг за знімками на базі неймереж дедалі частіше застосовуються для швидкого оновлення карт, що особливо актуально для малозаселених або важкодоступних регіонів [28].

Один із швидких і поширених способів оновлення та уточнення картографічного матеріалу – це інтеграція даних GPS-трекінгу. Багато транспортних засобів обладнані GPS-трекерами або смартфонами, які збирають локаційну інформацію про маршрут. Масиви таких GPS-даних дозволяють статистично відновлювати структуру дорожньої мережі та виявляти розбіжності з наявною картою [21]. Методами *map matching* та просторового кластерного аналізу можна зіставити треки з існуючою дорожньою схемою і додати відсутні дороги чи зміни конфігурації. Так, у США на основі мільйонів GPS-треків розробляються високоточні цифрові дорожні моделі у форматі HD-maps для автономних автомобілів, при чому регіональні обмеження для їх використання відсутні [22].

Паралельно із автоматизованими методами уточнення карт, важливим залишається внесок людей – водіїв, картографів-волонтерів, дорожніх інспекторів у формі краудсорсингу та польових перевірок. Наприклад, проєкт Mapillary дозволяє збирати фотографії доріг із геоприв'язкою і за допомогою штучного інтелекту визначати дорожні знаки, розмітку, обмеження швидкості тощо [24]. Google Maps теж використовує схожий зворотній зв'язок, коли є зміни на ділянці дороги у вигляді нової розв'язки або дороги перекрито, то локальні експерти можуть оперативно вносити правки. Google також експериментує із залученням партнерів-логістичних фірм, коли партнер надає фото дороги з новим знаком обмеження швидкості, а штучний інтелект та алгоритми із залученням людей-операторів розпізнають знак та оновлюють інформацію на карті [27]. Подібні підходи розроблено і в інших проєктах, які поєднують автоматизацію і експертний контроль, що підвищує достовірність даних [15].

Розглянуті методи можуть використовуватись у комплексі для досягнення високої точності та актуальності даних. Системне регулярне використання хоча б одного з них створює основу для покращення поточної ситуації в Україні. Тривале ігнорування необхідності актуалізації просторових даних або фрагментарний підхід у цьому питанні призводить до збитків. Для транспортних і

логістичних компаній похибки в картах означають неефективні маршрути і втрату часу. Якщо протяжність маршруту на карті не відповідає йому в реальності, то з одного боку вантажівки вимушено долають зайві кілометри, а з іншого – дорога перевантажується транспортними засобами, бо водії шукають коротший маршрут. Опитані водії стверджують, що проїжджають в середньому на 16 км більше кожен день через неточності та прогалини на картах. Три чверті опитаних водіїв повідомили, що щодня витрачають щонайменше 15 хвилин через некоректну картографічну інформацію [26]. Перевитрати накопичуються і доходять до значних сум. Так, понад \$600 млн на рік витрачається на паливо через додаткові кілометри, спричинені помилками карт. До цього додаються витрати на оплату зайвого робочого часу водіїв, що для території США оцінені у близько \$2,5 млрд на рік [25]. Паралельно виникають репутаційні та фінансові втрати від затримки доставки у вигляді штрафів за прострочення або через зниження лояльності клієнтів у перспективі.

Держава також зазнає фінансових збитків через неточні картографічні дані. Планування розвитку інфраструктури потребує достовірних даних про довжину та стан доріг, а у разі використання неточної інформації для кошторисів ремонту чи будівництва буде замовлено неактуальний обсяг робіт, матеріалів тощо. Недооцінка довжини дороги на 1% при плануванні капітального ремонту траси довжиною 100 км призведе до нестачі фінансування на 1 км, що в грошовому вимірі може становити сотні мільйонів гривень. Бюджет проєкту капітального ремонту ділянки траси довжиною 2,6 км складає 135,8 млн грн, тож при невідповідності 1% довжини дороги сума недостачі або переплати складе 1,35 млн грн [10]. Державним органам доводиться також витрачати кошти на дублюючі роботи зі збирання даних, якщо доступні карти неактуальні. За відсутності єдиної актуальної бази даних доріг різні відомства ведуть облік за різними базами даних, що збільшує операційні витрати. Систематична, регулярна актуалізація просторових даних запобігає нецільовим витратам державного бюджету і підвищує ефективність управління інфраструктурою.

Окрім прямих збитків виникають опосередковані наслідки: збільшення обсягу викидів CO₂, перевитрати коштів у разі компенсаційних заходів, затримки доставки товарів, порушення ланцюгів постачань на виробництві, втрати в суміжних галузях, зниження привабливості громадського транспорту, більш тривалі затори, зменшення продуктивності економіки та геосистем в цілому.

За останні 30 років перелік автодоріг України і їх протяжність затверджувались багаторазово. Протягом цього часу уточнювались довжини під'їздів, додаткових відрізків тощо. Але для водіїв шлях від пункту відправлення до пункту призначення практично не змінився, окрім випадків, коли виникали нових об'їзні маршрути. Саме тому ми проаналізували зміну протяжності міжнародних

шляхів на території України без під'їздів та об'їздів. Обрані шляхи знаходились в офіційному переліку впродовж 1998-2024 років та мали постійно визначені пункти початку і кінця (таблиця 1, рис.1).

Розбіжність загальної протяжності обраних магістралей між офіційними даними та даними онлайн ресурсів у різні періоди з 1998 до 2025 коливається від -89,2 км до +230,7 км.

Кількісна оцінка втрат від неточності карт дозволяє обґрунтовано підходити до питання інвестування у покращення картографічних даних. В результаті проведених досліджень запропоновано алгоритм визначення економічної оцінки втрат, які виникають внаслідок неточних картографічних зображень автомобільних доріг.

Таблиця 1

Порівняння протяжності міжнародних магістралей в межах України за даними переліку автомобільних доріг за 1998-2024 рр. та картографічних онлайн ресурсів* за 2024 р. в Україні (в км)

(складено автором за даними [24-30])

Comparison of the length of international highways within Ukraine according to the list of highways for 1998-2024 and online cartographic resources* for 2024 in Ukraine (in km)

(compiled by the author based on data from [24-30])

Індекс та № доро- ги	Періоди затвердження переліку автомобільних доріг Кабінетом Міністрів України									Онлайн карти 2024**
	1998 - 2002	2003 - 2006	2007 - 2011	2012 - 2014	2015 - 2016	2017 - 2018	2019 - 11.2021	12.2021 - 2022	2023 - 2024	
М-01	191,7	205,6	205,6	223,1	223,1	223,1	240,7	241,9	242,9	210,4
М-02	243,2	243,2	242,5	242,4	242,4	242,4	253,5	254,5	260,2	241,9
М-05	454,8	454,8	453,3	496,5	504,6	504,6	561,9	562,5	560,8	464,6
М-06	845,7	845,7	821,5	849,2	863,8	863,8	891,3	900,9	902,2	817,3
М-07	487,6	487,6	486,5	487,9	488,5	488,5	494,1	494,8	499,7	487,5
М-11	75,5	75,5	72,1	72,1	72,1	80,9	71,6	71,6	71,6	81,9
М-13	257,2	257,2	254,4	258,1	257,9	257,9	258,4	258,5	258,6	252,9
М-15	293	293	244,4	295,2	289,4	289,4	291,3	299,5	297,7	307,4
М-16	58,4	58,4	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7	58,9	58,9	58,9
М-20	28,5	28,5	28,5	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	26,4
М-27	14	14	14	14	14	14	14,1	14,1	14,1	15,2
Разом	2949,6	2963,5	2881,5	3025,6	3042,9	3051,7	3164	3185,6	3195,1	2964,4

* OpenStreetMap, Google Maps, GraphHopper

** середнє значення протяжності магістралі (в км) згідно використаних картографічних онлайн ресурсів

1. На першому етапі визначається власне точність картографічних даних шляхом порівняння їх з еталонними. Для цього вибирають репрезентативний набір маршрутів або точок дорожньої мережі. Для кожного маршруту визначають його довжину за картою та фактичну довжину за даними польових вимірювань. Різниця характеризує похибку довжини маршруту і рахується за формулою:

$$\Delta L = L_{\text{карт}} - L_{\text{етал}}, \text{ де}$$

$L_{\text{карт}}$ – довжина маршруту за картою,

$L_{\text{етал}}$ – довжина маршруту еталонна.

Аналогічно для окремих точок можна оцінити планову похибку за формулою:

$$\sqrt{(X_{\text{карт}} - X_{\text{етал}})^2 + (Y_{\text{карт}} - Y_{\text{етал}})^2}, \text{ де}$$

$X_{\text{карт}}$ та $Y_{\text{карт}}$ – координати точки в картезіанській системі за картою,

$X_{\text{етал}}$ та $Y_{\text{етал}}$ – координати точки в картезіанській системі за еталоном.

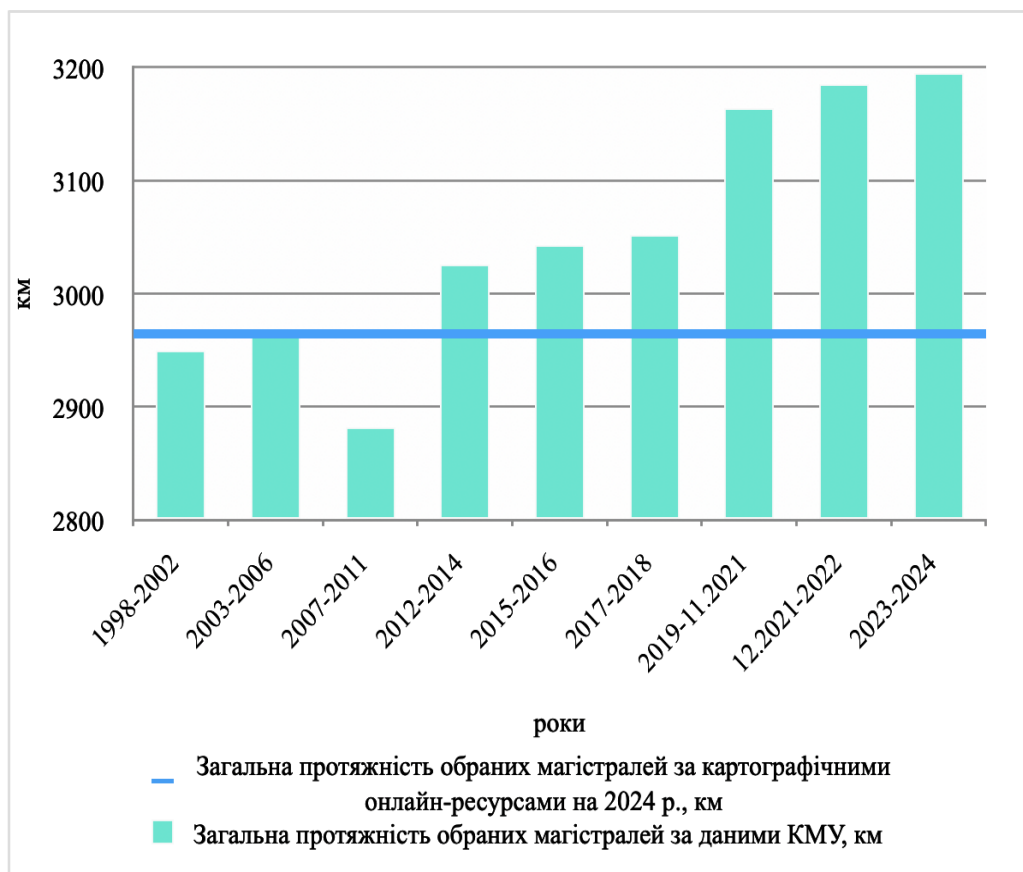


Рис. 1. Динаміка загальної протяжності обраних магістралей за даними КМУ за період 1998-2024 рр. та даними картографічних онлайн-ресурсів у 2024 р. в Україні (складено автором за даними [24-30])

Fig. 1. Dynamics of the total length of selected highways according to the Cabinet of Ministers of Ukraine for the period 1998-2024 and data from online mapping resources in 2024 in Ukraine (compiled by the author according to [24-30])

На основі вибірки з n вимірювань обчислюють середньоквадратичну помилку (СКП) для довжини маршрутів за формулою:

$$\text{СКП} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (L_{\text{карт},i} - L_{\text{етал},i})^2}, \text{ де}$$

$\sum_{i=1}^n (L_{\text{карт},i} - L_{\text{етал},i})^2$ – сума квадратів різниць

між виміряним за картою та еталонним значенням для довжини кожного маршруту,

n – кількість вимірювань.

Цей показник дає середню величину відхилення довжин шляхів на карті від реальних. За необхідності можна розрахувати середнє відносне відхилення у відсотках та аналізувати похибку по категоріях доріг.

2. Наступний етап – оцінка додаткового споживання пального рахуючи зайві кілометри. Використовуємо середню витрату пального на 100 км пробігу для відповідного типу транспорту. Для вантажівок великої вантажопідйомності це може бути 30–40 л/100 км, для легкових авто – 6–10 л/100 км. Припустимо, що середня витрата C літрів на 100 км відома, тоді на кожен кілометр зайвого пробігу витрачається $0,01 \cdot C$ літра. Якщо середнє відносне відхилення довжини маршруту

становить n %, то на кожні 100 км планового маршруту додається n км зайвого пробігу. Паливні втрати на 100 км дорівнюють $0,01 \cdot C \cdot n$ літрів. У грошовому вираженні при ціні пального P (грн/л) це складе $0,01 \cdot C \cdot n \cdot P$ гривень на 100 км. Перерахувавши на загальний пробіг автопарку за певний період, отримуємо сумарні зайві витрати.

На 2020 рік в Україні загальний пробіг вантажних та пасажирських автомобілів склав 6 934 526,3 км. Загальна протяжність всіх міжнародних автомобільних доріг у 2020 році згідно переліку КМУ складала 9311,2 км. Для вибраних нами магістралей у 2020 році загальна протяжність складала 3164 км або 33,9% від загальної протяжності. Перерахувавши річні дані загального пробігу для обраних магістралей отримуємо 2 350 804 км. Дані протяжності за онлайн картами для вибраних магістралей складає 2964,4 км, що на 6,3% менше за офіційні дані та складає 148 100 км від пробігу. При витраті 30 л/100 км і ціні дизеля на кінець 2020 року 23 грн/л, кінцеві перевитрати для споживача склали 1 021 890 грн. При зворотньому переведенні частки маршрутів до загальної протяжності переплати склали не менше 3 014 424 грн. Враховуючи, що у 2024 році на основних трасах розбіжності довжин досягають 17%, тож цифра

втричі перевищує розраховану для перевитрат кінцевих споживачів. Також довжини деяких магістралей за картографічними розрахунками більші, ніж за офіційним переліком, що здешевшує перевезення для кінцевих споживачів і в той же час завдає збитків транспортним компаніям в тих же пропорціях.

3. Етап оцінки втрат часу та трудових ресурсів, тобто коли маршрут коротше або довше реальної протяжності, виникає додатковий час у дорозі або його нестача. При швидкості 110 км/год, що дозволена на трасі розраховані вище надлишкові 148 100 км конвертуються у 1346 годин робочого часу, або 56 діб зайвого простою. А у випадку із довшим маршрутом - зайвого руху. Цей час можна вважати непродуктивним, бо він не використовується для виконання інших рейсів або запланованого відпочинку через те, що водій має бути в режимі очікування. Вартість втрат часу можна оцінити через заробітну плату водіїв за цей час та упущену вигоду від невиконаних потенційно можливих перевезень. Згідно із сайтами вакансій в Україні за годину роботи водія з нарахуваннями підприємство витрачає у середньому 200 грн, в такому разі 1346 годин обійдуться підприємству у 269 тис. грн. З іншої сторони спостерігаємо втрату потенційного доходу, коли за 1346 годин можливо було б здійснити додаткові доставки, які не виконані. Окремо слід врахувати, що неточності маршрутів можуть призводити до пропуску часових меж доставки, що тягне штрафні санкції або необхідність повторної доставки (додаткові витрати).

Крім вищевикладеного, неточності картографічної візуалізації впливають на загальні фінансові втрати транспортних компаній. До витрат пального додаються витрати на амортизацію техніки, бо зайві кілометри сприяють швидшому зносу шин, двигуна, що призводять до потреби частішого техобслуговування. Також слід враховувати такі непрямі втрати як погіршення репутації через затримки, відтік клієнтів до конкурентів з кращою логістикою. Точна цифра завжди залежатиме від багатьох змінних, але кожен відсоток неефективності зменшує рентабельність перевезень і конкурентоспроможність компанії. У масштабах галузі ефект значний і підтверджується оцінкою у \$6 млрд щорічних втрат у логістиці США [26].

Для держави та місцевих органів влади теж можна оцінити додаткові витрати на утримання доріг через нераціональне використання мережі. Якщо через прогалини в навігації великовагові вантажівки їздять альтернативними маршрутами по регіональних дорогах замість основних міжнародних або національних магістралей, то регіональні дороги руйнуються швидше і потребують ремонту раніше строку через додаткове навантаження. Так виникають прискорені амортизаційні відрахування на інфраструктуру.

Отже, для зменшення потенційних втрат необхідно вживати заходів для підвищення точності та актуальності карт автомобільних доріг шляхом використання даних лазерного сканування як основи для складання карт автомобільних доріг та їх передача в єдину базу Геопорталу Національної інфраструктури геопросторових даних, а також вдосконалення нормативної бази та стандартизація вимірювань. На державному рівні слід затвердити стандартизовані вимоги до точності цифрових карт доріг та механізми контролю їх дотримання.

Висновки. Забезпечення високої точності карт автотранспортних шляхів має не лише науково-технічне, а й важливе економічне значення. Неточності геодезичної та математичної основи і подальше некоректне картографічне моделювання автомобільних шляхів призводять до перевитрат пального, часу, ресурсів, а також створюють ризики неефективного використання бюджетних коштів, виділених на інфраструктуру, отже знижують загальну продуктивність транспортної системи. Проведений аналіз показав, що похибка в межах кількох процентів у довжині маршрутів здатна вилитися у мільйонні збитки в масштабах країни. Для мінімізації цих втрат необхідно впроваджувати сучасні технології збору даних, зокрема використання лазерного сканування, та удосконалювати нормативно-правову базу шляхом розробки стандартів точності, обов'язкових періодів оновлення певним методом збору, а також встановлення відповідальності за якість геоданих. Отримані результати можуть бути основою для подальших робіт з моделювання впливу якості геопросторових даних та їх відображення на економіку транспорту, а також для розробки національних програм вдосконалення цифрової картографічної інфраструктури України.

Список використаної літератури:

1. Гаман Н.О. Закони та принципи соціально-економічного тематичного картографування на прикладі проектування логістичних карт // Часопис соціально-економічної географії. – 2014. – Вип. 16(1). – С. 151-158 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://periodicals.karazin.ua/socecongeo/article/download/347/219>
2. Закон України “Про національну інфраструктуру геопросторових даних” № 554-IX від 13.04.2020. – Відомості Верховної Ради. – 2020. – № 31 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text>
3. Кабінет Міністрів України. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення: постанова від 30 березня 1998 р. № 455 // Офіційний вісник України. – 1998. – № 13. – С. 77 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/455-98-п/ed19980406>
4. Кабінет Міністрів України. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення: постанова від 20 квітня 2007 р. № 865 [Електронний ресурс] // Офіційний вісник

- України. – 2007. – № 29. – С. 35. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/865-2006-%D0%BF/ed20070420>
5. Кабінет Міністрів України. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення: постанова від 18 квітня 2012 р. № 301 // Офіційний вісник України. – 2012. – № 31. – С. 95 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/301-2012-п/ed20120418>
 6. Кабінет Міністрів України. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення: постанова від 16 вересня 2015 р. № 712 // Офіційний вісник України. – 2015. – № 74. – С. 32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/712-2015-п/ed20150916>
 7. Кабінет Міністрів України. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення: постанова від 30 січня 2019 р. № 55 // Офіційний вісник України. – 2019. – № 11. – С. 450 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/55-2019-п/ed20190130>
 8. Кабінет Міністрів України. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення: постанова від 17 листопада 2021 р. № 1242 // Офіційний вісник України. – 2021. – № 95. – С. 6152 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1242-2021-п/ed20211117>
 9. Кабінет Міністрів України. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення: постанова від 15 грудня 2023 р. № 1318 // Урядовий кур'єр. – 2023. – № 240. – С. 4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1318-2023-п>
 10. Капітальний ремонт автомобільної дороги загального користування місцевого значення О26165 об'їзд м. Сторожинець на ділянці км 0+000 – км 2+600 [Електронний ресурс] // DREAM. – 2023. – Режим доступу: <https://dream.gov.ua/ua/project/DREAM-UA-230424-ED60FA65/profile>
 11. Лозинський В.В. Топографічна карта: навчально-методичний посібник. – Вид. 2-ге, доопрац. і доповн. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2010. – 106 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/04/Lozynskyy-V-top-karta-2010-book.pdf>
 12. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч. посіб. / [С.О. Довгий, В.І. Лялько, С.М. Бабійчук, Т.Л. Кучма, О.В. Томченко, Л.Я. Юрків]. – К.: Ін-т обдарованої дитини НАПН України, 2019. – 316 с. ISBN 978-617-7734-01-6.
 13. СОУ 71.12–37-944:2014. База топографічних даних. Загальні вимоги. – Стандарт Мінагрополітики України. – К.: Мінагрополітики України, 2014. – 35 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nsdi.gov.ua/files/legislation/b691cae0-0a8b-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf>
 14. ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data (Edition 1). – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2015. – 81(3). – P. A1–A26.
 15. BeeMaps Blog. What is Map AI and What Role Does it Play in Updating Maps? – 14.10.2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://beemaps.com/blog/what-is-map-ai-and-what-role-does-it-play-in-updating-maps>
 16. Cai H., Rasdorf W. Accuracy Evaluation and Sensitivity Analysis of Estimating 3D Road Centerline Length using LIDAR and NED // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2009. – 75(6). – P. 681-689 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.14358/PERS.75.6.657>
 17. Cai H. та ін. Geographic Information Systems/National Elevation Data Route Mileage Verification // Journal of Surveying Engineering. – 2006. – 132(1). – P. 23-30 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2006\)132:1\(40\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2006)132:1(40))
 18. El-Ashmawy K. Testing the positional accuracy of OpenStreetMap data for mapping applications // Geodesy and Cartography. – 2016. – Vol. 42(1). – P. 2530 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3846/20296991.2015.1160493>
 19. Federal Geographic Data Committee (FGDC). Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA). – FGDC-STD-007.3-1998, 12 pp. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.asprs.org/a/society/divisions/pad/Accuracy/Draft ASPRS Accuracy Standards for Digital Geospatial Data PE&RS.pdf#:~:text=,of%20the>
 20. Girres J.-F., Touya G. Quality Assessment of the French OpenStreetMap Dataset // Transactions in GIS. – 2010. – 14(4). – P. 435-459 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2010.01203.x>
 21. Guo, Tao & Iwamura, Kazuaki & Koga, Masashi. Towards high accuracy road maps generation from massive GPS Traces data // IGARSS 2007 – IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – 2007. – P. 667-670 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2007.4422884>
 22. HD Map for Autonomous Vehicles Market by Solution (Cloud-Based & Embedded), LOA (L2, L3, L4, & L5), Usage (Passenger & Commercial), Vehicle Type, Services (Advertisement, Mapping, Localization, Update & Maintenance), & Region – Global Forecast to 2030 [Електронний ресурс]. – MarketsandMarkets, 2021. – Режим доступу: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hd-map-autonomous-vehicle-market-141078517.html>
 23. ISO 19157:2013 Geographic Information – Data Quality. – Geneva: International Organization for Standardization, 2013. – 80 pp.
 24. Mapillary [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://www.mapillary.com/?locale=uk_UA

25. Mosaic51. 5 Ways HD Mapping is Improving Logistics Routing & Planning // Mosaic51 Blog. – 2021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mosaic51.com/industry/improving-logistics-routing-planning-with-hd-mapping/>
26. Plautz J. Inaccurate maps cost logistics companies \$6B: survey // Smart Cities Dive. – 11.02.2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.supplychaindive.com/news/inaccurate-maps-cost-logistics-companies-delivery-Mapillary/572098/>
27. PortalGIS. Універсальні можливості LiDAR // PortalGIS.pro. – 13.10.2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://portalgis.pro/>
28. Sloan, S., Talkhani, R.R., Huang, T., Engert, J., & Laurance, W.F. Mapping remote roads using artificial intelligence and satellite imagery // Remote Sensing. – 2024. – 16(5). – P. 839 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/rs16050839>

Oleg Dmytrykov

PhD Student, Department of Physical Geography and Cartography,
V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine;
e-mail: oleg.dmytrykov@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9717-2033>

THE CONCEPT OF ACCURACY OF ROAD MAPS IN UKRAINE: ECONOMIC ASPECT

The article focuses on further consideration of approaches to improving the accuracy of road maps in terms of their geodetic and economic dimensions. So far, despite the definition of geometric positional accuracy parameters and the description of methods for collecting primary data by laser scanning and GNSS surveying, we have not yet paid due attention to a comprehensive assessment of the economic consequences of mapping errors.

The relevance of research on the accuracy of transport route modelling requires the latest methods of mathematical modelling of errors - from calculating the root mean square error (RMSE) for routes to comparing different sources of spatial information. Therefore, the purpose of this article is to present methodological foundations and recommendations for creating and improving the geodetic, mathematical and information base of road maps, as well as to highlight the economic benefits and results of transport logistics optimisation.

In accordance with the experience of previous developments, a thesis description of the algorithm for assessing losses and damages from inaccurate maps based on the relative deviation of route lengths and the indicators of the ICS is proposed. The influence of geometric distortions in cartographic materials and their correction by using laser scanning data is considered in detail. Examples of successful practices are given where more accurate maps have reduced losses and damages.

The importance of introducing recommendations for map modelling and using corrected methods of reproducing the road network in a single database is emphasised. This approach is in line with the postulate of the need for systematic updating of cartographic data, which allows formalising and quantifying the attribute characteristics of road transport routes in the national network.

Keywords: economic consequences, map accuracy, mapping modelling of highways, mapping error, logistics costs, lidar data, geodetic basis of highway maps.

References:

1. Haman, N.O. (2014). Laws and principles of socio-economic thematic mapping on the example of designing logistics maps. *Human Geography Journal*, 16(1), 151-158. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/socecongeo/article/download/347/219> [in Ukrainian].
2. Law of Ukraine 'On the National Geospatial Data Infrastructure' No. 554-IX of 13.04.2020 (2020). *Bulletin of the Verkhovna Rada*. No. 31. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text> [in Ukrainian].
3. Cabinet of Ministers of Ukraine (1998). On approval of the list of public roads of state importance; Resolution of 30 March 1998, No. 455. *Official Bulletin of Ukraine*, 13, 77. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/455-98-п/ed19980406> [in Ukrainian].
4. Cabinet of Ministers of Ukraine. On Approval of the List of Public Roads of State Importance: Resolution of 20 April 2007, No. 865 (2007). *Official Gazette of Ukraine*, 29, 35. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/865-2006-%D0%BF/ed20070420> [in Ukrainian].
5. Cabinet of Ministers of Ukraine. On approval of the list of public roads of state importance: Resolution of 18 April 2012, No. 301 (2012). *Official Gazette of Ukraine*, 31, 95. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/301-2012-п/ed20120418> [in Ukrainian].
6. Cabinet of Ministers of Ukraine. On approval of the list of public roads of national importance: Resolution of 16 September 2015, No. 712 (2015). *Official Gazette of Ukraine*, 74, 32. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/712-2015-п/ed20150916> [in Ukrainian].
7. Cabinet of Ministers of Ukraine. On Approval of the List of Public Roads of State Importance: Resolution of 30 January 2019, No. 55 (2019). *Official Bulletin of Ukraine*, 11, 450. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/55-2019-п/ed20190130> [in Ukrainian].
8. Cabinet of Ministers of Ukraine. On approval of the list of public roads of national importance: Resolution of 17 November 2021 No. 1242 (2021). *Official Gazette of Ukraine*, 95, 6152. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1242-2021-п/ed20211117> [in Ukrainian].
9. Cabinet of Ministers of Ukraine. On approval of the list of public roads of national importance: Resolution of 15 December 2023 No. 1318 (2023). *Uryadovyi Kurier*, 240, 4. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1318-2023-п> [in Ukrainian].

10. Overhaul of the public road of local importance O26165 bypassing the city of Storozhynets on the section km 0+000 - km 2+600 (2023). Retrieved from <https://dream.gov.ua/ua/project/DREAM-UA-230424-ED60FA65/profile> [in Ukrainian].
11. Lozynskyi, V.V. (2010). Topographic map: a textbook. Edition 2, revised and supplemented. Lviv: Publishing Centre of Ivan Franko National University of Lviv, 106 p. Retrieved from <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/04/Lozynskyi-V-top-karta-2010-book.pdf> [in Ukrainian].
12. Dovhyi, S. Lyalko, V., Babychuk, S. Kuchma, T. Tomchenko, O. & Yurkiv, L. (2019). Fundamentals of remote sensing of the Earth: history and practical application: a textbook. K.: Institute of Gifted Child of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine, 316 p. [in Ukrainian].
13. SOU 71.12-37-944:2014. Topographic data base. General requirements. (2014). Standard of the Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. K.: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 35 p. Retrieved from <https://nsdi.gov.ua/files/legislation/b691cae0-0a8b-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf> [in Ukrainian].
14. ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data (Edition 1) (2015). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), A1-A26.
15. BeeMaps Blog. What is Map AI and What Role Does it Play in Updating Maps? 14.10.2024: Retrieved from <https://beemaps.com/blog/what-is-map-ai-and-what-role-does-it-play-in-updating-map>
16. Cai, H., & Rasdorf, W. (2009). Accuracy Evaluation and Sensitivity Analysis of Estimating 3D Road Centreline Length using LIDAR and NED. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(6), 681-689. <https://doi.org/10.14358/PERS.75.6.657>
17. Cai, H. et al. (2006). Geographic Information Systems/National Elevation Data Route Mileage Verification. *Journal of Surveying Engineering*, 132(1), 23-30. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2006\)132:1\(40\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2006)132:1(40))
18. El-Ashmawy, K. 2016. Testing the positional accuracy of OpenStreetMap data for mapping applications. *Geodesy and Cartography*, 42(1), 25-30. <https://doi.org/10.3846/20296991.2015.1160493>
19. Federal Geographic Data Committee (FGDC). Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA). FGDC-STD-007.3-1998, 12 pp. Retrieved from <https://www.asprs.org/a/society/divisions/pad/Accuracy/Draft ASPRS Accuracy Standards for Digital Geospatial Data PE & RS.pdf#:~:text=,of%20the>
20. Girres, J.-F., & Touya, G. (2010). Quality Assessment of the French OpenStreetMap Dataset. *Transactions in GIS*, 14(4), 435-459. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2010.01203.x>
21. Guo, Tao & Iwamura, Kazuaki & Koga, Masashi (2007). Towards high accuracy road maps generation from massive GPS Traces data. *IGARSS 2007 - IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, p. 667-670. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2007.4422884>
22. HD Map for Autonomous Vehicles Market by Solution (Cloud-Based & Embedded), LOA (L2, L3, L4, & L5), Usage (Passenger & Commercial), Vehicle Type, Services (Advertising, Mapping, Localisation, Update & Maintenance), & Region - Global Forecast to 2030. MarketsandMarkets, 2021. Retrieved from <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hd-map-autonomous-vehicle-market-141078517.html>
23. ISO 19157:2013 Geographic Information - Data Quality (2013). Geneva: International Organisation for Standardisation, 80 pp.
24. Mapillary (2024). Retrieved from https://www.mapillary.com/?locale=uk_UA
25. Mosaic51. 5 Ways HD Mapping is Improving Logistics Routing & Planning (2021). *Mosaic51 Blog*. Retrieved from <https://www.mosaic51.com/industry/improving-logistics-routing-planning-with-hd-mapping/>
26. Plautz, J. (2020). Inaccurate maps cost logistics companies \$6B: survey. *Smart Cities Dive*. Retrieved from <https://www.supplychaindive.com/news/inaccurate-maps-cost-logistics-companies-delivery-Mapillary/572098/>
27. PortalGIS (2024). Universal capabilities of LiDAR. *PortalGIS.pro*. Retrieved from <https://portalgis.pro/>
28. Sloan, S., Talkhani, R.R., Huang, T., Engert, J., & Laurance, W.F. (2024). Mapping remote roads using artificial intelligence and satellite imagery. *Remote Sensing*, 16(5), p. 839. <https://doi.org/10.3390/rs16050839>

Received 03 November 2024

Accepted 13 December 2024