

# Просторово-часові структури автомобільної мережі України: стан і перспективи картографічного моделювання

Олег О. Дмитриков 

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

## Реферат

У статті розглянуто стан, недоліки і перспективи картографічного моделювання просторово-часових структур автомобільної мережі України. Метою дослідження є розробка методичних рекомендацій для підвищення точності відображення просторових та часових змін автомобільних мереж із застосуванням сучасних ГІС-технологій. Проаналізовано поняття простору та часу в історико-філософському контексті, висвітлено міждисциплінарність категорії “просторово-часові структури”. Встановлено, що традиційні класифікації автомобільних мереж, такі як адміністративна, функціональна, техніко-експлуатаційна та ландшафтно-геоморфологічна, не враховують специфіку картографічної візуалізації просторово-часових структур. Проведено декомпозицію існуючих класифікацій із визначенням просторово-часових компонентів, які потребують спеціального підходу при картографуванні. З’ясовано, що традиційні методи не дозволяють оперативно реагувати на швидкі зміни автодорожніх ландшафтів. Запропоновано впровадження регулярного лазерного сканування високої роздільної здатності, що забезпечує точне відображення просторово-часових змін і відкриває можливості для створення динамічних 4D-картографічних моделей.

## Ключові слова

просторово-часові структури, автомобільна мережа, картографічне моделювання, ГІС-технології, лазерне сканування, динамічні зміни

Надійшла до редакції: 20 листопада 2024 / Прийнята: 25 грудня 2024 / Опублікована онлайн: 30 грудня 2024

## Spatial and temporal structures of the road network of Ukraine: conceptual approaches to cartographic modelling

Oleg O. Dmytrykov

V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine

## Abstract

The article considers the state, shortcomings and prospects of cartographic modelling of spatial and temporal structures of the road network of Ukraine. The aim of the study is to develop methodological recommendations for improving the accuracy of mapping spatial and temporal changes in road networks using modern GIS technologies. The article analyses the concepts of space and time in the historical and philosophical context, emphasising the interdisciplinarity of the category "spatial and temporal structures". It is found that traditional classifications of road networks, such as administrative, functional, technical and operational, landscape and geomorphological, do not take into account the specificities of cartographic visualisation of spatial and temporal structures. The existing classifications are decomposed by identifying spatial and temporal components that require a special approach to mapping. It is found that traditional methods do not allow a quick response to rapid changes in the road landscape. It is proposed to introduce regular high resolution laser scanning, which provides an accurate representation of spatial and temporal changes and opens up opportunities for the creation of dynamic 4D mapping models.

## Keywords

spatio-temporal structures, road network, cartographic modelling, GIS technologies, laser scanning, dynamic changes

Received: 20 November 2024 / Accepted: 25 December 2024 / Published online: 30 December 2024

## 1. Вступ

Поняття простору і часу є фундаментальними категоріями, що визначають сучасні підходи до аналізу просторово-часових структур. Їх трактування змінювалося в історії науки: від античних філософів, які сприймали простір і час як єдине середовище руху (Sattler, 2020; Zeyl et al., 2023), до класичної механіки Ньютона, де простір і час стали абсолютними й незалежними категоріями (Janiak, 2020; Rynasiewicz, 2022). У ХХ столітті, завдяки Ейнштейну, простір і час були об'єднані в єдиний просторово-часовий континуум, який динамічно

взаємодіє з матерією (Penrose, 2004; DiSalle, 2020).

У науках про Землю категорія просторово-часових структур має переважно прикладний характер. Так, часо-географія Торстена Гегерстранда розглядає мобільність як рух у чотиривимірному просторі-часі (Hägerstrand, 1970), а концепція “стиснення простору-часу” Д. Гарві акцентує на важливості оперативного аналізу змін ландшафтів через розвиток транспорту і комунікацій (Harvey, 1990). Українські дослідники-ландшафтознавці (Пашенко, 1993; Петлін, 2010) також підкреслюють єдність просторових і часових аспектів територіальних систем, наголошуючи на потребі точного та оперативного їх вивчення.

## Corresponding author:

Oleg O. Dmytrykov, V.N. Karazin Kharkiv National University,  
Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine  
Email: oleg.dmytrykov@student.karazin.ua

Водночас традиційні картографічні підходи недостатньо адаптовані для відображення швидких просторово-часових змін загалом і змін стану автодорожніх мереж зокрема. Саме тому актуалізується необхідність використання сучасних технологій збору і представлення просторових даних, зокрема регулярного лазерного сканування та ГІС-технологій, що дозволяє створювати інтегровані 4D-картографічні моделі, здатні оперативно й точно відобразити динаміку автомобільних мереж України.

## 2. Матеріали і методи

У дослідженні застосовано міждисциплінарний аналіз із використанням історико-філософського, фізико-географічного та картографічного підходів для визначення поняття просторово-часових структур. Проведено аналіз класифікацій, закріплених у нормативних документах українського законодавства та науковій літературі. Здійснено декомпозицію основних класифікацій автомобільних мереж - адміністративної, функціональної, техніко-експлуатаційної та ландшафтно-геоморфологічної - з метою виокремлення просторово-часових компонентів, що мають значення для картографічного моделювання. Використано порівняльний аналіз сучасних методів картографування з акцентом на можливостях й обмеженнях традиційних та геоінформаційних методів. У результаті аналізу встановлено, що традиційні картографічні підходи через низьку частоту оновлення інформації, генералізацію та обмеження умовної символіки не дозволяють оперативно реагувати на швидкі зміни, які відбуваються в автодорожніх мережах під впливом природних (ерозія, зсуви, підтоплення) та антропогенних процесів (будівництво, реконструкція доріг, зміна інфраструктури).

Для подолання цих обмежень запропоновано метод регулярного лазерного сканування поверхні, який передбачає періодичне оновлення даних для оперативного моніторингу просторово-часових змін автомобільної мережі. Даний метод забезпечує високу точність вимірювань (до сантиметрів і навіть міліметрів), значно перевищуючи точність класичних геодезичних та аерофотознімальних методів. Оперативне оновлення інформації дозволяє відслідковувати динамічні процеси, що відбуваються в межах автомобільної мережі та прилеглих територій. Крім того, регулярне лазерне сканування створює можливість побудови інтегрованих 4D-картографічних моделей, у яких часові зміни безпосередньо інтегруються з просторовими даними, що значно підвищує інформаційну та прогностичну цінність отримуваних моделей. Метод регулярного лазерного сканування дозволяє вирішити проблему оперативного й точного картографування просторово-часових структур, забезпечуючи основу для подальшого розвитку сучасних підходів до картографічного моделювання. В основу підходу також покладено системний аналіз картографічних похибок, що потенційно виникають унаслідок генералізації та умовної символіки на картах різних масштабів.

## 3. Результати та обговорення

Під просторово-часовою структурою ми розуміємо динамічну систему у просторі, яка змінюється в часі під впливом природних та антропогенних факторів. Транспортні мережі є прикладом саме такої структури, що складається зі структур нижчого рангу. Просторово-часова структура транспортної мережі — це сукупність усіх елементів транспортних шляхів, вузлів і комунікаційних ліній, які характеризуються одночасно просторовим розміщенням і часовою динамікою функціонування під впливом природного та антропогенного середовища.

Транспортні мережі досліджуються переважно в контексті соціально-економічної географії, архітектури та будівництва, де транспортна мережа розглядається як інфраструктурний об'єкт, а не як частина природного середовища. За визначенням Ж.-П. Родріге (Rodrigue, 2020), транспортна мережа — це система, що забезпечує переміщення людей і вантажів між вузлами у просторі. Серед транспортних мереж саме автомобільна є найпоширенішою в Україні, що й зумовило її вибір як об'єкта дослідження. У своїх дослідженнях ми розглядаємо просторово-часові структури ландшафтів автомобільних мереж як об'єкт картографування з метою виявлення недоліків їхньої візуалізації та пошуку шляхів їх усунення. Загальновідомо, що в картографії важливим є розуміння поняття просторово-часової структури. Це поняття почало простежуватися вже в процесі створення атласів (насамперед комплексних, науково-довідкових), а також серій карт, при формуванні підходів до відображення об'єктів і явищ. У сучасних умовах це реалізується шляхом застосування ГІС-технологій, що дозволяють створювати комплексні 4D-моделі для відстеження змін кожного об'єкта в межах простору-часу (Dykes et al., 2005; Langran, 1992; Peuquet, 1994; Yuan, 2018). Для розуміння ролі і значення картографування в процесі візуалізації просторово-часових структур транспортних шляхів доцільно, на наш погляд, розглянути існуючі класифікації транспортних, зокрема автомобільних, мереж і виявити які їх складові є проблемними в процесі картографування. Найбільш поширеною є класифікація автомобільних доріг, закріплена в українському законодавстві й побудована за адміністративним підходом. Згідно з нею, автомобільні шляхи поділяються на дороги державного значення (міжнародні, національні, регіональні, територіальні) та місцевого значення (обласні й районні) (Verkhovna Rada..., 2005).

Широко застосовується також техніко-експлуатаційна класифікація згідно з будівельними нормами (DBN..., 2015), відповідно до якої дороги класифікуються за інженерними параметрами й об'єднані у п'ять основних технічних категорій: V, IV, III, II, I-б, I-а.

Функціональна класифікація доріг, попри свою популярність у країнах із розвинутою транспортною інфраструктурою, офіційно не закріплена в чинному законодавстві України. Водночас у наукових дискусіях активно обговорюється адаптація зарубіжного досвіду з метою більш чіткого поділу дорожньої мережі за роллю та функціональним призначенням, що, зокрема, відображено

у статті Н. О. Арсенєвої (Arseniieva, 2020). У США ще з 1950–1960-х років функціональну класифікацію доріг використовують для державного інфраструктурного планування, і її закріплено на законодавчому рівні. Згідно з даними (U.S. Department of Transportation..., 2023), дорожня мережа поділяється на магістральні (arterial), збірно-розподільчі (collector) та місцеві (local) дороги.

Серед класифікацій автомобільних мереж у контексті наук про Землю найбільшого поширення набула ландшафтно-геоморфологічна класифікація, яка розглядає автодорожні мережі як один із різновидів антропогенних ландшафтів, що присутні майже у всіх типах природних ландшафтів. Регіональну ландшафтно-геоморфологічну класифікацію запропонували представники наукової школи Г. І. Денисика (Denysuk et al., 2017), де дорожні ландшафти типізуються відповідно до типу місцевості. Наприклад, у межах Поділля серед варіантів шосейних дорожніх ландшафтів пропонується виділяти такі типи: заплавні, надзаплавно-терасові, схиліві, вододільні, останцево-вододільні, товтрові тощо. Для кожного класу в межах відповідних класифікацій притаманні просторові особливості у вигляді типових інфраструктурних елементів і часових змін.

У класифікації за *адміністративно-правовим підходом* в класі місцевих доріг просторові особливості виражаються наявністю 1-2 смуг руху, відсутністю або мінімальною шириною розділювальної смуги, нерегульованими перехрестями, “Т”-подібними примиканнями, простим набором дорожніх знаків, обмеженим освітленням, невеликими містками та трубами для перетину тимчасових водотоків. Покриття таких доріг часто представлено ґрунтовими або асфальтобетонними матеріалами середньої якості. Часові зміни у цьому класі проявляються сезонними впливами (розмиви весною й восени, сніговими заносами взимку), а також поступовою еволюцією: заміною ґрунтового покриття на асфальт, встановленням засобів регулювання руху. За умов зростання транспортного значення можливе підвищення статусу до доріг державного значення. Клас міжнародних доріг має інший набір інфраструктурних характеристик: 4 і більше смуг руху, багаторівневі розв’язки, великі мости, естакади, шумозахист, камери відеоспостереження, змінні знаки, повноцінні сервісні зони (АЗС, місця відпочинку, ваговий контроль), якісне освітлення та бар’єри безпеки по всій довжині. Часова динаміка характеризується постійною модернізацією відповідно до міжнародних стандартів, регулярними ремонтами та оновленнями, високою швидкістю руху (понад 100 км/год), а також впровадженням SMART-технологій.

За *техніко-експлуатаційною класифікацією* класом найнижчого рангу є V категорія. Такі дороги переважно мають ґрунтове або гравійне покриття, мінімум попереджувальних дорожніх знаків, водопропускні труби замість мостів. Часові зміни проявляються сезонною руйнацією внаслідок розмокання, недостатнього водовідведення. Поступове асфальтування таких доріг може сприяти їх переходу до IV категорії. Натомість дороги найвищої категорії (I-a) – це автомагістралі з чотирма і більше смугами, виключно багаторівневими

розв’язками, повним контролем доступу, огороженням, відсутністю перехресть в одному рівні чи виїздів із локальних доріг. Часова динаміка таких доріг включає планове утримання, часте оновлення покриття, інфраструктури, впровадження інтелектуальних систем управління, встановлення електророзрядних станцій, а за необхідності – розширення до 3-4 смуг у кожному напрямку.

За *функціональною класифікацією* найнижчий ранг мають місцеві (local) дороги. Їм притаманні одно- або двосмуговий рух, виїзди з приватних садиб, мінімальна розмітка (або її відсутність), нерегульовані “Т”-перехрестя, можливість паркування вздовж узбіч. Часові зміни переважно повільні, однак частішають із ростом щільності міської та/або передміської забудови. Відбувається нерегулярне додавання знаків, освітлення, елементів безпеки, зокрема “лежачих поліцейських”. У разі збільшення транспортного потоку можливий перехід до категорії збірно-розподільчих доріг (collector). Магістральні (arterial) дороги — найвищий клас, для якого характерні 4 і більше смуг із розділювальною смугою або відбійником, регульовані перехрестя або багаторівневі розв’язки, встановлені системи контролю швидкості, адаптивні світлофори, шумозахисні екрани. Часові зміни тут інтенсивні: регулярне оновлення розмітки, інформаційних систем тощо.

За *ландшафтно-геоморфологічним підходом* ранжування класів відсутнє, оскільки дороги будь-якого класу (згідно з попередніми класифікаціями) можуть бути вписані в ландшафти різних типів місцевостей. Просторові особливості та часові динаміки при цьому мають специфіку залежно від геоморфологічних умов. Наприклад, дороги в заплавних ландшафтах зазвичай зводять на насипах або палях, використовують мости та естакади для перетину зон паводків, застосовують спеціальні дренажні системи, габійні укріплення берегів. Часові зміни включають сезонні підйоми води, паводки, загрози підтоплення, необхідність регулярного обстеження інженерних конструкцій і можливе нарощування насипу. У схилістих ландшафтах дороги характеризуються помірним або значним ухилом, що потребує облаштування підпірних стінок, укріплення узбіч, виїмок і відкосів, досконалих водостоків. У часовій динаміці спостерігається посилення ерозії, зсувні процеси, які періодично вимагають укріплення та реконструкції, а інтенсивний вантажний рух спричиняє деформацію покриття.

У межах кожної класифікації розмаїття об’єктів і чинників може бути систематизовано в єдину базу компонентів, що дозволяє описати будь-який клас дороги як сукупність відповідних елементів із визначеними просторовими та часовими параметрами. Це, в свою чергу, створює умови для врахування специфіки під час їхнього картографічного моделювання. Було виділено наступні групи компонентів на основі розглянутих класифікацій: 1) лінійні дорожні сегменти (А), 2) вузлові об’єкти (В), 3) штучні споруди (С), 4) інфраструктура обслуговування (D), 5) системи управління і безпеки (Е), 6) додаткові геоінженерні та ландшафтні елементи (F). Для прикладу представлено фрагмент групи компонентів лінійних дорожніх сегментів (табл. 1).

**Таблиця 1.** Фрагмент групи компонентів лінійних дорожніх сегментів (складено автором)  
**Table 1.** Fragment of a group of components of linear road segments (compiled by the author)

| ID | Назва                         | Ключові параметри   | Варіанти (у різних класифікаціях)   | Просторово-часові особливості  | Де зустрічається   |
|----|-------------------------------|---|---|--|--|
| A1 | О д н о - / двосмугова дорога | - тип покриття (грунт, гравій, асфальт);<br>- швидкісний режим (30–70 км/год);<br>- ширина проїзної частини (3–6 м) | - адмін-підхід: місцеві (районні);<br>- функц.: local;<br>- техн.-експл.: V, IV;<br>- геоморф.: будь-де, особливо вододільні, надзаплавні | - може еволюціонувати: із ґрунтової → асфальт;<br>- з часом розширення на 2 повноцінні смуги;<br>- потребує капремонту/грейдерування (за погіршення стану) | типові для локальних доріг, сільських шляхів, під'їздів до невеликих населених пунктів |

Протягом тривалого часу автомобільні мережі традиційно вважалися сферою досліджень соціально-економічної географії, що зумовило домінування економічних і логістичних аспектів у їхньому вивченні. При цьому природнича складова залишалася поза належною увагою.

Жодна із класифікацій не бере до уваги картографічну складову та особливості відображення просторово-часових структур автомобільних мереж, які впливають на точність представленої інформації. Виникає ситуація, коли використання картографічного методу як наочного методу для зображення автомобільних мереж як антропогенних ландшафтів призводить до внесення похибок через специфіку картографічного відображення лінійних об'єктів. Дорога як лінійний об'єкт має специфічний спосіб відображення і знак, який містить в собі похибку, бо, як мінімум, відсутня можливість зобразити ширину дороги у масштабі.

Як показали наші дослідження, на традиційних та електронних картах дається загальний рисунок і деякі елементи автомобільних мереж. У такому випадку не враховуються особливості зображення просторово-часових структур автомобільних мереж з огляду на будь-яку класифікацію.

Максимальне спрощення геометричної форми та генералізація на електронних картах призводить до зникнення деяких із названих структур за будь-якого масштабу.

Щоб визначити шляхи вирішення цієї проблеми, нами проведено порівняльний аналіз сучасних методів картографування, включаючи традиційні (топографічне картографування, аерофотознімання), сучасні ГІС-технології (на основі супутникових знімків) та метод регулярного лазерного сканування, запропонований у цій роботі. Основні переваги та недоліки розглянутих методів узагальнено нижче (табл. 2).

**Таблиця 2.** Переваги та недоліки методів отримання просторово-часових даних при картографуванні просторово-часових структур (складено автором)

**Table 2.** Advantages and disadvantages of methods for obtaining spatiotemporal data when mapping spatiotemporal structures (compiled by the author)

| Метод отримання інформації                                     | Переваги  | Недоліки  |
|--|---|---|
| Традиційний (топографічні та тематичні карти)                  | Доступність історичних даних, стандартизована методика, широке практичне застосування   | Низька оперативність оновлення, значна генералізація інформації, неможливість точного відображення динамічних змін (ерозії, зсувів, реконструкції доріг), обмеженість умовної символіки |
| Геоінформаційний (на основі супутникових знімків)              | Висока частота оновлення інформації, можливість автоматизованого аналізу та інтеграції з іншими даними  | Недостатня просторова точність, залежність від погодних умов (хмарність), рослинного покриву, недостатнє відображення деталей лінійних об'єктів (ширина доріг, малі споруди)            |
| Регулярного лазерного сканування поверхні (пропонований метод) | Висока просторова точність (до сантиметрів і навіть міліметрів), оперативність оновлення, інтеграція просторових і часових даних, можливість створення динамічних 4D-моделей для аналізу та прогнозування | Відносно висока вартість технології, необхідність спеціалізованого обладнання та програмного забезпечення   |

Порівняльний аналіз демонструє, що, попри більшу вартість, саме регулярне лазерне сканування є найбільш перспективним методом для подолання обмежень традиційних та супутникових ГІС-методів. Ця технологія дозволяє оперативно відображати швидкі просторово-часові зміни, які мають місце в автодорожніх мережах під впливом як природних, так і антропогенних чинників. Саме застосування лазерного сканування дозволить суттєво підвищити якість та інформаційну цінність картографічного моделювання

просторово-часових структур автомобільних мереж.

Задля врахування просторово-часових особливостей та можливості їх коректного відображення ми розділили кожен клас та категорію, представлені у розглянутих вище класифікаціях, на просторові складові і часові зміни як основні елементи, важливі для їх аналізу, оцінки, використання, а отже такі, що потребують картографічного відображення.

Жовтим кольором виділено структури, які можуть відображатись або не відображатись на карті при зміні

масштабу, а зеленим – структури, на які не впливає зміна масштабу і їх наразі не можна відобразити

ні при традиційному, ні при геоінформаційному картографуванні (табл. 3-6).

**Таблиця 3.** Фрагмент декомпонованої класифікації за адміністративним підходом (складено автором)  
**Table 3.** Fragment of the decomposed classification according to the administrative approach (compiled by the author)

| Клас                             | Просторові особливості  | Часові зміни   |
|----------------------------------|---|--|
| Місцеві дороги (районні/обласні) | 1–2 смуги руху  | - Сезонні впливи: весною та восени розмиви, зимою – снігові замети<br><br>- Повільна еволюція: поступова заміна ґрунтового покриття на асфальт, встановлення додаткового регулювання |
|                                  | Відсутня або мінімальна розділювальна смуга                   |  |
|                                  | Нерегульовані перехрестя                                      |  |
|                                  | T-подібні примикання  |  |
|                                  | Простий набір дорожніх знаків                                 |  |
|                                  | Обмежене освітлення   |  |
|                                  | Невеликі містки/труби для перетину потічків                   | - Зміна статусу: за збільшення важливості можуть перейти у “державні”  |
|                                  | Можливі ґрунтові чи асфальтобетонні покриття середньої якості |  |

**Таблиця 4.** Фрагмент декомпонованої класифікації за функціональним підходом (складено автором)  
**Table 4.** Fragment of the decomposed classification according to the functional approach (compiled by the author)

| Клас            | Просторові особливості (типові інфраструктурні елементи)              | Часові зміни  |
|-----------------|---|---|
| Local (місцеві) | Одно- чи двосмуговий рух із можливими виїздами з приватних садиб      | - Зміни частішають з ущільненням міської та передміської забудови<br>- Додавання знаків, освітлення, “лежачих поліцейських” за зростання безпекових вимог |
|                 | Мінімальна розмітка (суцільна/переривчаста осьова) або її відсутність |   |
|                 | T-подібні примикання  | - Можливий перехід у Collector при зростанні потоку транспортних засобів  |
|                 | Паркування уздовж узбіч   |   |

**Таблиця 5.** Фрагмент декомпонованої класифікації за техніко-експлуатаційним підходом (складено автором)  
**Table 5.** Fragment of the decomposed classification by technical and operational approach (compiled by the author)

| Категорія | Просторові особливості                    | Часові зміни   |
|-----------|---|--|
| V         | Можлива ґрунтова/гравійна дорога          | - Сезонна руйнація (розмокання, відсутність якісного водовідведення)       |
|           | Мінімум знаків, переважно попереджувальні |  |
|           | T-подібні примикання                      | - Поступове покращення покриття, асфальтування для переходу в категорію IV |

**Таблиця 6.** Фрагмент декомпонованої класифікації за ландшафтно-геоморфологічним підходом (складено автором)  
**Table 6.** Fragment of the decomposed classification according to the landscape-geomorphological approach (compiled by the author)


| Клас (тип місцевості) | Просторові особливості (типові інфраструктурні елементи)               | Часові зміни   |
|-----------------------|--|--|
| Заплавні              | Дороги часто на насипах чи палях через заболочені або заплавні ділянки | - Сезонні підйоми води, паводки, загроза підтоплення<br><br>- Регулярне обстеження палевих/естакадних конструкцій<br><br>- Можливе нарощення насипу за підвищення рівня води |
|                       | Мости й естакади над зонами паводків                                   |  |
|                       | Особливі дренажні системи  |  |
|                       | Підсилені узбіччя  |  |
|                       | Габіонні укріплення берегів  |  |

Як бачимо, залежно від масштабу, відображення просторових структур є реальним, особливо при застосуванні геоінформаційних технологій: чим більший масштаб карти чи вищі можливості масштабування електронної карти — тим більш деталізованим стає зображення елементів дороги і прилеглих територій. Хоча сучасний стан традиційних картографічних технологій поки що не дозволяє повноцінно візуалізувати часові структури, саме запропоновані нами концептуальні підходи, включаючи регулярне лазерне сканування, створюють перспективу вирішення цієї проблеми у найближчому майбутньому. Таким чином, запропоновані методики мають концептуальний характер, спрямований на подолання технологічних обмежень і формування основ для подальших досліджень у сфері оперативного картографування та динамічного моделювання.

#### 4. Висновки

Аналіз історії дослідження просторово-часових структур транспортних мереж відповідно до їх класифікацій показав, що візуалізація транспортних мереж, зокрема автомобільних, потребує детального вивчення усіх компонентів — як самої мережі, так і прилеглих територій. Проведена декомпозиція просторово-часових структур виявила низку недоліків у сучасному картографічному відображенні автомобільних шляхів, зокрема — неповноту представлення просторових структур і відсутність (або неможливість за нинішніх темпів «оперативного» картографування) відображення часових структур. Єдиним виходом із цієї ситуації, на нашу думку, є регулярне (з інтервалом у 1–5 років) лазерне сканування поверхні з високою роздільною здатністю та використанням в процесі картографічної візуалізації динамічних 4D-моделей. Запропонований концептуальний підхід виходить за рамки простого відображення існуючих класифікацій доріг. Пропонується здійснювати оперативне картографічне моделювання на базі лазерного сканування територій, що дозволить: а) інтегрувати просторові дані із часовими змінами, формуючи базу для аналітики та прогнозування розвитку автомобільних мереж, що сприятиме більш точному, повному та оперативному картографічному моделюванню, яке враховуватиме динамічні зміни природного й антропогенного середовища; б) відповідати передовим європейським і американським технологіям збору первинної інформації.

#### ORCID iD

Oleg O.Dmytrykov  <https://orcid.org/0000-0001-9717-2033>

#### Список посилань

Arseniyeva, N.O. (2020). Obgruntuvannia osnovnykh kryteriiv funktsionalnoi klasyfikatsii avtomobilnykh dorih

[Justification of the main criteria for functional classification of highways]. Vcheni zapysky TNU im. V.I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky, 31(70), №2, 85–89. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-2/15> [Арсеньєва, Н.О. (2020). Обґрунтування основних критеріїв функціональної класифікації автомобільних доріг. Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, 31(70), №2, 85–89].

DBN V.2.3-4:2015. (2015). Sporudy transportu. Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo [Transport facilities. Highways. Part I. Design. Part II. Construction]. Kyiv: Minregionbud. Retrieved from [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3074920736381470676?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074920736381470676?doc_type=2) [ДБН В.2.3-4:2015. (2015). Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Київ: Мінрегіонбуд].

Denysyk, G.I., & Valchuk-Orkusha, O.M. (2017). Classification and optimization of road landscapes [Klasyfikatsiia i optymizatsiia dorozhnykh landshaftiv]. World Science, 8(24), vol. 2, 7–11. <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/442959.pdf> [Денисик, Г.І., Вальчук-Оркуша, О.М. (2017). Класифікація і оптимізація дорожніх ландшафтів. World Science, 8(24), vol. 2, 7–11].

DiSalle, R. (2020). Space and Time: Inertial Frames. In E.N. Zalta (Ed.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2020 Edition). <https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/spacetime-iframes/>

Dykes, J., MacEachren, A.M., & Kraak, M.-J. (Eds.). (2005). Exploring Geovisualization. Elsevier. <https://books.google.com.ua/books?id=gUza-nsEwioC&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false>

Harvey, D. (1990). Stan postmodernosti: Doslidzhennia vytokiv kulturnykh zmin [The condition of postmodernity: An enquiry into the origins of cultural change]. Blackwell Publishers. <https://files.libcom.org/files/David%20Harvey%20-%20The%20Condition%20of%20Postmodernity.pdf> [Гарві, Д. (1990). Стан постмодерності: Дослідження витоків культурних змін. Blackwell Publishers].

Hägerstrand, T. (1970). What about people in Regional Science?. Papers of the Regional Science Association, 24, 6–21. <https://doi.org/10.1007/BF01936872>

Janiak, A. (Ed.). (2020). Space in the Seventeenth Century. In A. Janiak (Ed.), Space: A History. Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/oso/9780199914104.003.0010>

Langran, G. (1992). Time in Geographic Information Systems. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781003062592>

Pashchenko, V.M. (1993). Teoretychni problemy landshaftoznavstva [Theoretical problems of landscape science]. Naukova dumka. [Пащенко, В.М. (1993). Теоретические проблемы ландшафтоведения. Наукова думка].

Penrose, R. (2004). The road to reality: A complete guide to the laws of the universe. Jonathan Cape. Retrieved from <https://ia801208.us.archive.org/6/items/RoadToRealityRobertPenrose/road%20to%20reality-robert%20penrose.pdf>

Petlin, V.M. (2010). Konstruktyvna heohrafiia [Constructive geography]. Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU im. Ivana Franka. [Петлін, В.М. (2010). Конструктивна географія. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка].

Peuquet, D.J. (1994). It's about Time: A Conceptual

Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems. *Annals of the Association of American Geographers*, 84(3), 441–461. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2563777>

Rodrigue, J.-P. (2020). *The Geography of Transport Systems* (5th ed.). Routledge.

Rynasiewicz, R. (2022). Newton's Views on Space, Time, and Motion. In E.N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2022 Edition). Retrieved March 12, 2025, from <https://plato.stanford.edu/archives/spr2022/entries/newton-stm/>

Sattler, B. (2020). Space in Ancient Times: From the Beginning to Aristotle. In A. Janiak (Ed.), *Space: A History*. Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/oso/9780199914104.003.0002>

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. (2023). *Highway Functional Classification: Concepts, Criteria and Procedures*. Retrieved from <https://www.fhwa.dot.gov/planning/processes/statewide/related/hwy-functional-classification-2023.pdf>

Yuan, M. (2018). Representing Complex Geographic Phenomena in GIS. *Cartography and Geographic Information Science*, 45(2), 106–115. <https://doi.org/10.1559/152304001782173718>

Zakon Ukrainy Pro avtomobilni dorohy [Law of Ukraine On automobile roads]. (2005). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, №51, st.556. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text> [Закон України «Про автомобільні дороги». (2005). *Відомості Верховної Ради України*, №51, ст.556].

Zeyl, D., & Sattler, B. (2023). Plato's Timaeus. In E.N. Zalta & U. Nodelman (Eds.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2023 Edition). Retrieved March 11, 2025, from <https://plato.stanford.edu/archives/fall2023/entries/plato-timaeus/>