

ВІДГУК

Дорожко Євгена Вікторовича

офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента, завідувача кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою

Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

на дисертаційну роботу **Дулі Михайла Віталійовича** на тему

«Розроблення методу обліку довжини автомобільних доріг на основі просторових даних», поданої на здобуття ступеня доктора філософії

у галузі 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Актуальність теми дисертаційної роботи зумовлена нагальною потребою модернізації системи управління дорожньою інфраструктурою України в умовах трансформаційних викликів. Зростаюча роль транспортних мереж у забезпеченні економічної стабільності, обороноздатності та соціальної згуртованості країни вимагає впровадження точних, прозорих і технологічно адаптованих методів обліку та оцінювання дорожніх активів. Особливої уваги набуває питання достовірного обліку протяжності автомобільних доріг, що є базовим параметром для планування, фінансування та контролю ефективності інфраструктурних рішень.

У контексті цифровізації державного управління та інтеграції до європейських стандартів, актуальність дослідження посилюється необхідністю переходу від фрагментарних статистичних підходів до системного, методологічно обґрунтованого обліку дорожньої мережі. Це передбачає врахування не лише фізичних характеристик доріг, а й їх функціонального навантаження, адміністративного статусу та динаміки змін унаслідок військових дій, реконструкцій чи зміни нормативної бази.

Дисертаційна робота відповідає стратегічним завданням державної політики у сфері транспорту, спрямованої на підвищення ефективності управління ресурсами, прозорість бюджетного планування та забезпечення сталого розвитку регіонів. Її результати можуть слугувати підґрунтям для створення інтегрованих інформаційних систем підтримки прийняття рішень на всіх рівнях управління дорожнім господарством.

Таким чином, дослідження має не лише наукову, а й прикладну значущість, оскільки сприяє формуванню сучасної методології обліку дорожньої інфраструктури, здатної забезпечити точність, актуальність і практичну корисність даних для державних органів, інженерних служб та аналітичних центрів.



Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Результати дисертаційного дослідження, що стосуються методики обліку протяжності автомобільних доріг із використанням просторових координат, знайшли практичне застосування в межах науково-дослідної тематики кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету за темою «Розроблення сучасних методів будівництва та експлуатації автомобільних доріг, транспортних споруд з оцінкою їх якісного стану, проведення експертної оцінки основних фондів дорожніх підприємств» (державний реєстраційний № 0122U001566) та науково-дослідних проєктів, реалізованих на замовлення Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України. Зокрема, окремі положення та програмно-алгоритмічні рішення дисертаційної роботи були використані під час виконання робіт за договорами від 27.11.2023 № 110–23, предметом якого була розробка національного стандарту представлення даних геоінформаційної системи автомобільних доріг загального користування, та № 114–23, що стосувався аналізу просторових координат доріг державного значення й актуалізації відповідної бази географічних даних.

Окремі положення дослідження інтегровані в освітній процес, зокрема в межах викладання дисципліни «Технічна експертиза та оцінка автомобільних доріг» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньою програмою «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів». Це сприяє формуванню у здобувачів практичних навичок роботи з геопросторовими даними та сучасними методами технічного аналізу транспортної інфраструктури.

Практичне впровадження результатів дослідження здійснено, зокрема, під час перевірки координат автомобільних доріг загального користування в межах Житомирської області з метою їх узгодження з державною опорною мережею. Окремий акцент було зроблено на приведенні довжини елементів дорожньої інфраструктури (транспортні розв'язки, місцеві проїзди, додаткові смуги руху тощо) до односмугового еквівалента, що забезпечує підвищення точності обліку. Крім того, запропоновану методику використано під час виконання інженерно-геодезичних робіт, зокрема для математичної обробки результатів визначення координат осей автомобільних доріг та їх узгодження з державною геодезичною мережею, які виконувало ТОВ фірма «Геора».

Аналіз змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота присвячена розробленню методу обліку довжини автомобільних доріг на основі просторових даних. Робота складається з

чотирьох розділів, кожен з яких висвітлює важливі аспекти дослідження.

Розділ 1 містить огляд літератури та аналіз існуючих методів обліку довжини автомобільних доріг. Проаналізовано еволюцію та сучасний стан методів обліку довжини автомобільних доріг, зокрема традиційного лінійного підрахунку, лінійно-референтних підходів і приведення до односмугового еквівалента. Виконано огляд світових і національних практик ведення дорожніх реєстрів та нормативних вимог до просторових даних, що регламентують точність, повноту й узгодженість відомостей.

Розділ 2 присвячений обґрунтуванню методів перевіряння та коригування просторових даних як передумову коректного визначення довжини. Послідовно викладено принципи побудови топологічно несуперечливої моделі мережі, правила геометричного узгодження та способи очищення GNSS-треків від шумів і «збійних вузлів».

У **розділі 3** сформульовано математичні та статистичні моделі односмугового обчислення довжини й виконано експериментальні дослідження точності. Розділ містить кількісні результати точності на репрезентативних ділянках: після уточнення лінійних прив'язок і параметрів кривих/похилів середня розбіжність становить 1,831 м у прямому та 1,974 м у зворотному напрямку на відрізку 75 243,280 м, що підтверджує придатність підходу для подальших інженерних і фінансових розрахунків. Окреслено типологію помилок, із якими стикаються на практиці: механічні (змішування розділових знаків у числових даних, переплутані X/Y), логічні (порушення послідовності внесення профілів) та інтерпретаційні. Для кожної з цих груп наведено приклади й процедури виправлення.

Розділ 4 дисертаційної роботи присвячений практичній реалізації розробленого методу обліку довжини автомобільних доріг та перевірці його працездатності на реальних даних мережі. На початку розділу сформульовано методуку визначення облікової довжини автомобільних доріг загального користування в односмуговому обчисленні, орієнтовану на використання у статистичній звітності та при плануванні видатків на дорожні роботи. Окремо розглядається питання розподілу довжини між різними балансоутримувачами в межах однієї дороги, що забезпечує коректний облік у випадках поділу експлуатаційної відповідальності.

У підрозділі 4.2 наведено застосування методу для потреб системи справляння плати за проїзд. Описано логіку формування матриці зв'язків між пунктами входу/виїзду на мережу, матриці відстаней між ними, а також матриці місцеположення терміналів збору даних. Визначаються принципи розбиття мережі на перегони, правила побудови вузлових зв'язків і уникнення неоднозначностей у трактуванні маршрутів.

Завершальна частина розділу присвячена використанню програмного інструмента «Коректор треків» як робочого засобу реалізації запропонованого методу. Охарактеризовано структуру інтерфейсу та основні групи функцій, що забезпечують завантаження та візуалізацію треків, перевіряння та коригування просторових даних, формування виправлених траєкторій та одержання розрахункових довжин. Показано, що за допомогою цього програмного забезпечення реалізується повний цикл обробки геодезичних вимірювань – від «сирих» даних до узгодженої тривимірної моделі автомобільних доріг.

У **загальних висновках** автор підсумовує результати проведеного дослідження, акцентуючи на їх науковій новизні та прикладній значущості для системи обліку й управління дорожньою інфраструктурою. Показано, що розроблений підхід не зводиться лише до перерахунку довжин, а формує цілісну концепцію обліку мережі автомобільних доріг на основі геопросторових даних.

По-перше, обґрунтовано перехід від традиційного «осьового» обліку до уніфікованої метрики односмугового еквівалента, яка базується на тривимірному моделюванні осі дороги та лінійно-референтному поданні мережі. Така метрика дає змогу усунути подвійний рахунок на складних транспортних вузлах і забезпечує коректне включення до обліку додаткових та перехідно-швидкісних смуг, місцевих проїздів і з'їздів.

По-друге, наголошено на процедурній відтворюваності й аудитованості результатів, яка досягається завдяки формалізованим процедурам перевіряння, верифікації та коригування геопросторових даних, узгоджених із вимогами 3D-моделювання. Запропонований ланцюг операцій (виявлення й виправлення помилок у GNSS-треках, узгодження плану та поздовжнього профілю, формування еталонного треку, розрахунок односмугового еквівалента) забезпечує стабільні, відтворювані показники довжини, придатні для офіційної статистики, фінансового планування та міжвідомчого обміну інформацією.

По-третє, продемонстровано інструментальну реалізацію методу у вигляді спеціалізованого програмного забезпечення та його інтеграцію в прикладні сценарії управління дорожньою мережею. Програмний інструмент «Коректор треків» реалізує повний цикл обробки геопросторових даних – від первинних GNSS-вимірювань до одержання узгоджених тривимірних моделей та односмугово-нормованих довжин перегонів і вузлів. На цій основі формуються матриці відстаней і зв'язків, матриці довжин для систем справляння плати за проїзд та задач транспортного моделювання, що підтверджує виробничу спроможність і масштабованість запропонованого

підходу на рівні державної мережі доріг.

У сукупності це забезпечує узгоджений перехід від теоретично обґрунтованого методу обліку довжини на основі геопросторових даних до його практичного використання в системах обліку, планування видатків, впровадження телематичних сервісів і цифрового управління дорожньою інфраструктурою, що повністю відповідає поставленій у дисертації меті та заявленим завданням.

Важливо відзначити, що результати дисертаційного дослідження були впроваджені у навчальний процес та отримали практичне застосування при розробленні бази даних просторових координат автомобільних доріг. Це підтверджує практичну цінність та актуальність проведеного дослідження.

Робота має чітку структуру, логічну послідовність викладу матеріалу та містить важливі наукові та практичні результати в галузі будівництва та цивільної інженерії, зокрема дорожнього господарства, геодезії та геоінформатики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

На основі наданої інформації, наукову новизну отриманих результатів дисертаційної роботи можна сформулювати наступним чином:

1. Створено метод обліку протяжності доріг на базі 3D-моделювання, у якому довжина визначається як результат відтворюваних операцій над просторовою (координатною) та лінійно-референтною моделями мережі. Новизна полягає в поєднанні тривимірного подання осьової геометрії з чіткими правилами сегментації та нормування, що усуває неоднозначності на складних вузлах і закладає основу для машинної перевірки розрахунків.

2. Уперше виконано повномасштабну перевірку, коригування й розрахунок довжин мережі основі геопросторових даних, тобто організовано процес «від первинних вимірювань до еталонних треків». Це створює умови для порівнюваності результатів у часі та просторі й забезпечує їх відтворюваність незалежно від виконавця.

3. Удосконалено методи верифікації та узгодження геоданих для потреб 3D-моделювання: формалізовано послідовність контролю якості (виявлення «збійних вузлів», ідентифікація/параметризація кривих, узгодження плану й поздовжнього профілю, згладжування, урівноваження треків), що знижує вплив похибок польових/камеральних робіт і підвищує стабільність обчислень на великих масивах даних.

4. Розвинено підходи до розміщення терміналів збору даних і розрахунку пройденої відстані для систем справляння плати за проїзд: введено узгоджені матриці зв'язків, відстаней і довжин перегонів/вузлових

зв'язків, прив'язку вимірювань систем електронного збору даних до еталонного треку; подано зведені таблиці параметрів терміналів (координати, лінійні прив'язки, кількість смуг/антен/зчитувачів), що забезпечує однозначність нарахувань і виключає «сірі зони».

5. Розроблено методичні рекомендації щодо обліку довжини автомобільних доріг загального користування в односмуговому обчисленні, які можуть бути використані у статистичній звітності про мережу автомобільних доріг загального користування і при плануванні видатків на дорожні роботи.

Повнота відображення дисертаційної роботи в опублікованих працях. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 13 наукових праць, у тому числі 5 у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України; 1 стаття у зарубіжному періодичному виданні; 7 у збірниках праць за матеріалами конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація включає вступ, чотири загальні розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 111 найменувань та чотири додатки. Загальний обсяг дисертації становить 207 сторінок. Основний текст викладений на 148 сторінках. Текст ілюструється 71 рисунком і містить 19 таблиць.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

1. Запровадження односмугового еквівалента перетворює довжину дороги з умовної «осьової» величини на уніфіковану, порівнювану метрику, яка коректно враховує розв'язки, з'їзди, додаткові та перехідно-швидкісні смуги. Це знімає суперечності між різними балансоутримувачами та дозволяє формувати консолідовані звіти.

2. Нормалізована довжина напряму підвищує якість кошторисів нового будівництва, реконструкцій і експлуатаційного утримання, зменшує ризики недофінансування/перевитрат та робить ставки й обсяги робіт прозорими для аудиту.

3. Порівнюваність довжин між регіонами забезпечує більш справедливе бюджетування: фінансування прив'язується до фактичного обсягу утримуваних елементів, а не до спрощеної осьової протяжності.

4. Єдина координатна та лінійно-референтна основа спрощує прив'язку довжин до паспортів об'єктів, дефектології, історії ремонтів і показників рівня послуг, відкриваючи шлях до повного життєвого циклу управління активами.

5. Описані процедури верифікації та коригування (виявлення «збійних вузлів», узгодження плану/профілю, параметризація кривих, згладжування треків) формують стандартизований, багатоетапний процес контролю якості геоданих, який забезпечує відтворюваність результатів і мінімізує вплив людського фактора.

6. Методика узгоджується з сучасними підходами до ведення національних дорожніх реєстрів і цифрового управління інфраструктурою, полегшує інтеграцію з європейськими коридорами та статистичними режимами, а також з національними точками доступу до транспортних даних.

7. Реалізація у вигляді інженерного інструмента («Коректор треків») забезпечує повний цикл «імпорт – візуалізація – аналітика/коригування – експорт», що дозволяє тиражувати метод на регіони та підрядні організації без втрати якості.

8. Нормалізовані довжини, пов'язані з топологією мережі та її експлуатаційними атрибутами, можуть безпосередньо використовуватися в цифрових двійниках дорожньої мережі для прогнозування зносу, планування експлуатаційних втручань і оцінювання ефективності інвестицій.

9. Результати впроваджено у виробничу практику: виконано перевірку просторових координат мережі доріг загального користування Житомирської області з ув'язкою до державної мережі; під час інженерно-геодезичних робіт (ТОВ «Геора») застосовано методи математичного опрацювання та узгодження осей автомобільних доріг.

10. Результати дослідження впроваджено у навчальний процес при викладанні дисципліни «Технічна експертиза та оцінка автомобільних доріг», що сприяє підготовці кваліфікованих фахівців у галузі будівництва, експлуатації та діагностики автомобільних доріг.

11. Результати дослідження були застосовані при розробці нормативних документів та стандартів, зокрема, стосовно геоінформаційної системи автомобільних доріг загального користування.

Відповідність дисертації встановленим вимогам

Аналіз змісту дисертації дозволяє оцінити її як закінчене самостійне наукове дослідження, що містить достовірні обґрунтовані наукові та практичні результати. Викладення основного матеріалу дисертації, наукових положень, практичних результатів та висновків логічне та аргументоване. Використання матеріалів інших авторів здійснюється з посиланням на наукові праці. Мова та структура дисертації відповідають загальноприйнятій в наукових роботах. Дисертаційна робота відповідає вимогам до

дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії, що встановлені Міністерством освіти і науки України.

Зауваження до дисертаційної роботи

Відзначаючи змістовність та системність дослідження, що проведено Дулею М.В., а також позитивно оцінюючи дисертацію «Розроблення методу обліку довжини автомобільних доріг на основі просторових даних», необхідно звернути увагу на наступне:

1. У підрозділі 1.4 варто було б чіткіше окреслити обмеження щодо застосування запропонованого підходу: умови некоректності GNSS-вимірювань, складні умови місцевості, тощо.

2. У підрозділі 2.3 можна було б ширше розкрити питання обліку специфічних елементів поперечного профілю (виділені смуги громадського транспорту, смуги для поворотів ліворуч/праворуч) в односмуговому обчисленні, з наведенням окремих прикладів для міських ділянок доріг.

3. У підрозділі 3.1 наведено інформацію про обсяги зібраних просторових координат доріг різних категорій. Разом з тим, для повнішої оцінки репрезентативності експериментального масиву доцільно було б подати узагальнену характеристику цих даних: географічне охоплення (кількість областей, типи територій), загальну протяжність мережі, частку доріг міжнародного, національного, регіонального та територіального значення, а також, за можливості, умови збору (сезон, типові погодні умови).

4. У розділі 4 описано поточний функціонал розробленого програмного забезпечення. Разом із тим, доцільно було б дещо ширше окреслити перспективи подальшої автоматизації (пакетна обробка великих масивів треків, інтеграція з геопорталами, галузевими базами даних, цифровими двійниками дорожньої мережі).

5. У роботі активно використовуються поняття «трек», «еталонний трек», «маршрут», «лінійна прив'язка (км+)». Було б корисно подати невеликий термінологічний глосарій із чіткими визначеннями й контекстами застосування.

Загальний висновок та оцінка дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Дулі Михайла Віталійовича є завершеним самостійним науковим дослідженням, присвяченим актуальній науково-практичній проблемі розроблення уніфікованого, відтворюваного та придатного до аудиту методу обліку довжини автомобільних доріг на основі геопросторових даних.

Автор продемонстрував глибоке розуміння теоретичних засад і сучасних трендів управління дорожніми мережами на основі геопросторових даних. Запропонований метод поєднує 3D-моделювання, лінійно-референтне подання та алгоритми перевіряння/коригування геоданих і забезпечує об'єктивне, відтворюване визначення протяжності з приведенням до односмугового еквівалента. Такий підхід коректно враховує складні елементи мережі, зокрема транспортні розв'язки, місцеві проїзди, додаткові та перехідно-швидкісні смуги, усуваючи подвійний рахунок і підвищуючи порівнюваність показників у просторі та часі.

Розроблений багаторівневий алгоритмічний комплекс із програмною реалізацією («Коректор треків») є інноваційним рішенням для галузевої практики, оскільки формалізує правила обліку довжини, забезпечує простежуваність і контрольованість кожного етапу обчислень та органічно поєднується із задачами бюджетного планування, транспортного моделювання і функціонування систем справляння плати за проїзд.

Практична значущість роботи підтверджується успішною апробацією розробленого методу на реальних об'єктах та його впровадженням у навчальний процес. Результати дослідження мають широке практичне застосування для підвищення ефективності управління, експлуатації та обслуговування мережі автомобільних доріг.

Важливо відзначити, що робота виконана на високому науковому рівні, має чітку структуру та логічну послідовність викладу матеріалу. Автор продемонстрував здатність до самостійного наукового пошуку, аналізу складних технічних проблем та розробки інноваційних рішень. Отримані результати є науково обґрунтованими та мають суттєве значення для розвитку методології обліку довжини автомобільних доріг.

Дисертаційна робота робить вагомий внесок у вирішення актуальної науково-практичної проблеми відсутності в Україні уніфікованої, відтворюваної й аудитованої методики обліку довжини автомобільних доріг на основі просторових даних.

Дисертаційна робота Дулі Михайла Віталійовича на тему: «Розроблення методу обліку довжини автомобільних доріг на основі просторових даних», та представлені до розгляду публікації задовольняють вимогам п. 6-9 Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 341 від 21.03.2022 р.).

За своєю актуальністю, науковою новизною та практичною значущістю

робота повністю відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, а її автор, Дуля Михайло Віталійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Євген ДОРОЖКО

Підпис Дорожко Є.В.
засвідчую
Проректор з наукової
роботи ХНАДУ



Для АМИТРАЄВ