

Данило КІНЬ¹, Юрій КАРПІНСЬКИЙ²

¹ Кафедра геоінформатики і фотограмметрії, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, Київ, 03037, Україна, ел. пошта: kondanil24@gmail.com, <https://orcid.org/00000-0002-0185-2534>

² Кафедра геоінформатики і фотограмметрії, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, Київ, 03037, Україна, ел. пошта: karp@gki.com.ua, <https://orcid.org/00000-0002-0701-1277>

ФЕНОМЕН ВИНИКНЕННЯ ТОПОЛОГІЧНИХ НЕУЗГОДЖЕНОСТЕЙ РАМОК КАРТ ПРИ СТВОРЕННІ ОСНОВНОЇ ДЕРЖАВНОЇ ТОПОГРАФІЧНОЇ КАРТИ

Мета цієї роботи – дослідження топологічної неузгодженості під час зшивання та зведення рамок суміжних аркушів цифрових топографічних карт масштабу 1: 50000 із застосуванням строгих аналітичних геодезичних методів на референц-еліпсоїді в геоінформаційному середовищі. У виконаних дослідженнях проаналізовано феномен виникнення топологічних неузгодженостей рамок суміжних аркушів цифрових топографічних карт масштабу 1:50000 на межах зон проєкцій Гаусса – Крюгера та доцільність переходу на строгі аналітичні геодезичні методи у геоінформаційному середовищі під час створення бази топографічних даних “Основна державна топографічна карта” за допомогою визначення розбіжностей між вершинами рамок номенклатурних аркушів цифрових топографічних карт масштабу 1: 50000 на межах зон проєкції, виявлених під час робіт у Державному підприємстві “Науково-дослідний інститут геодезії і картографії”. У роботі отримано й проаналізовано залежності, які демонструють зміни відстаней між вершинами рамок суміжних аркушів масштабу 1: 50000 по довготі та по широті. Ці величини містяться у межах від 1 мм до 8 мм, що призведе до топологічної неузгодженості у вигляді розривів (*gaps*) і накладань (*overlaps*) суміжних аркушів топографічних карт, що ускладнює зведення аркушів цифрових топографічних карт та унеможливує автоматизацію процесу зшивання об’єктів бази топографічних даних. Наукова новизна проведених досліджень полягає в обґрунтуванні застосування строгих аналітичних геодезичних методів та засобів замість аналогових картометричних і стандартних методів інструментальних ГІС; використання референц-еліпсоїда, а не лише картографічних проєкцій, сфероїда або сфери. Практична значущість досліджень полягає у використанні строгих аналітичних геодезичних методів, які істотно мінімізують значення розривів і накладань, оскільки встановлення допусків для цих величин не дає змоги автоматизувати процес коректного зшивання та зведення аркушів топографічних карт. Виконані дослідження можуть використовуватися для формування бази топографічних даних – “Базової топографічної карти масштабу 1: 10000” під час створення та оновлення геопросторових даних у геоінформаційному середовищі та виконання геодезичних методів для визначення картометричних характеристик об’єктів за допомогою ГІС. З огляду на отримані результати досліджень можна зробити висновок, що на сучасному етапі застосування геоінформаційних систем у топографо-геодезичній діяльності необхідне підвищення рівня топології даних та точності всіх картометричних методів, що зумовлює перехід на використання виключно строгих аналітичних геодезичних методів безпосередньо на референц-еліпсоїді.

Ключові слова: референц-еліпсоїд; геодезичні методи; розриви та накладання; картографія; строгі комп’ютерні методи; база топографічних даних; картометрія; топологія.

Вступ

Прийняття Закону України “Про національну інфраструктуру геопросторових даних” 13.04.2020 р. та затвердження Постанови Кабінету Міністрів України “Про порядок функціонування національної інфраструктури геопросторових даних” 26.05.2021 р. сприяють всебічному використанню геоінформаційних систем, систем керування базами геопросторових

даних, геопорталів та інших геоінформаційних технологій в Україні, що, своєю чергою, потребує підвищення рівня інтелектуалізації геопросторових даних, перегляду та запровадження нових сучасних вимог до їх створення та оновлення в геоінформаційному середовищі. Ці геопросторові дані становлять уніфіковану цифрову координатно-просторову основу для формування наборів базових даних, для інтеграції та впровадження

іншої діяльності із різними наборами тематичних геопросторових даних. Розвиток сучасних технологій та нормативно-правове забезпечення держави дають змогу переосмислити деякі питання цифрової координатно-просторової основи для подальшого її використання та розвитку, насамперед питання математичної основи карт.

Одним із прикладів створення набору базових даних загальнодержавного рівня є База топографічних даних “Основна державна топографічна карта” (далі – БТД), яку створило Державне підприємство “Науково-дослідний інститут геодезії і картографії” під час реалізації українсько-норвезького проєкту “Карти для сприяння належному управлінню землями в Україні”. Робота розпочалася після підписання Угоди між Кабінетом Міністрів України та Урядом Королівства Норвегія про технічне та фінансове співробітництво від 18.10.2016 р. та Угоди для реалізації проєкту, укладеної між Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру і Картографічною службою Королівства Норвегія від 28.02.2018 р. [Lazorenko-Nevel et al., 2021]. Геодезична основа БТД – це Державна геодезична референсна система координат УСК-2000 (EPSG:5561), тобто дані цієї бази топографічних даних змодельовано на референц-еліпсоїді. Публікація даних на національному геопорталі (<https://nsdi.gov.ua/map50k>) і визначення геодезичними методами картометричних характеристик об’єктів БТД відбуваються безпосередньо в УСК-2000.

Одним із головних розділів картографії є застосування геодезичних і картометричних методів, які визначають умови всіх вимірювань на різноманітних картографічних матеріалах: картах, топографічних планах, профілях, ортофотопланах, космічних знімках тощо [Kin & Karpinskyi, 2021].

Можна зазначити про три етапи розвитку картометричних методів:

- аналогові картометричні методи [Руководство, 1973; Рехтзамер, 1974; Maling, 1989; Барановський та ін., 2009а];

- стандартні методи інструментальних геоінформаційних систем (далі – ГИС), які не є строгими, а наближеними, оскільки в обчисленні використовують обмежену кількість членів у ряді Тейлора [Voser, 1999; Chamberlain & Duquette, 2007; Nishiyama, 2012; Panou et al.,

2013; Карпінський та Кінь, 2018; Fisikopoulos, 2019; Idrizi, 2020; Karpinskyi and Kin, 2020; Martínez-Llario et. al., 2021; Yildirim & Kadi, 2021];

- строгі комп’ютерні методи, що дають змогу визначати кількісні характеристики об’єктів з високою точністю із практично нескінченною сумою членів у ряді Тейлора [Karney, 2011; Pędzich & Kuźma, 2012; Karney, 2013; Huang, 2017; Berk & Ferlan, 2018; Setiawan & Sediyo, 2020; Kin & Karpinskyi, 2020; Baselga & Olsen, 2021; Marx, 2021; Panou & Korakitis 2021].

Застосування числових методів для визначення картометричних характеристик на референц-еліпсоїді розглянуто у таких роботах [Rapp, 1993; Galo et al., 2003; Turiño, 2008; Pędzich et al., 2009; Sjöberg & Shirazian, 2012; Cazabal-Valencia et al., 2016; Morgaś & Kopacz, 2016; Gojković et al., 2017; Vermeer & Rasila, 2019; Morgaś & Kopacz, 2017; Fisikopoulos, 2019; Dong et al., 2021].

У цій статті досліджено феномен топологічних неузгодженостей між суміжними рамками аркушів цифрових топографічних карт масштабу 1: 50000 на межах зон проєкції Гаусса – Крюгера та вирішено цю проблему із застосуванням необхідних правил топології даних та строгих аналітичних геодезичних методів на референц-еліпсоїді у геоінформаційному середовищі.

Мета

Мета роботи – дослідження топологічної неузгодженості під час зшивання та зведення рамок суміжних аркушів цифрових топографічних карт масштабу 1: 50 000 із застосуванням топологічних та строгих аналітичних геодезичних методів на референц-еліпсоїді в геоінформаційному середовищі.

Методика досліджень

Традиційно всі характеристики точності топографічних карт у чинних нормативних документах ґрунтуються на обмеженнях, зумовлених паперовою основою, яка має роздільну здатність 300 dpi. Граничні розміри предметів, які можна розрізнити на аналоговій карті, визначаються точністю масштабу [Барановський та ін., 2009б].

Тому традиційно за теоретичну точність масштабу приймають відстань на місцевості, що відповідає у цьому масштабі 0,1 мм карти. Сучасна геоінформатика дає змогу працювати із геопросторовою моделлю у будь-яких масштабі та системі координат, що впливає на точність визначення картометричних характеристик об'єкта місцевості.

Однією із головних вимог для зведення та зшивання аркушів топографічних карт у суцільну безшовну базу топографічних даних є наявність множини рамок аркушів топографічних карт без розривів та накладань одна на одну. В такому випадку ця множина рамок аркушів топографічних карт (трапецій) утворює неперервну поверхню – покриття (*coverage*).

Природа походження досліджуваного феномену пояснюється послідовністю створення векторної моделі рамок топографічних аркушів масштабу 1: 50000 відповідно до вимог формуляра аркуша карти масштабу 1: 50000 (рис. 1), яка складалася із таких етапів:

1. На основі фіксованих значень кутів рамок аркушів карт, що вказані в геодезичних координатах у частках градусів на референц-еліпсоїді Красовського (EPSG:4284), створено полігональні об'єкти рамок аркушів карт.

2. Надалі геодезичні координати кутів рамок аркушів трансформовано у прямокутні координати зон проєкцій Гаусса – Крюгера (EPSG: 5562, 5563, 5564, 5565) стандартними засобами програмного забезпечення ArcGIS for Desktop 10.6.

3. Для зведення та зшивання об'єктів у базі топографічних даних “Основної державної топографічної карти” координати кутів рамок аркушів трансформовано в геодезичні координати стандартними засобами QGIS 3.24 та ArcGIS for Desktop 10.6.

Зауважимо, що розриви та накладання між суміжними аркушами топографічних карт на межах зон проєкції Гаусса – Крюгера утворились внаслідок застосування наближених стандартних засобів ГІС та округлень значень координат під час їх координатних трансформацій. Це, своєю чергою, вплинуло на топологічну узгодженість вершин та ребер полігональних об'єктів рамок суміжних аркушів, ребра яких

мають бути спільними, не накладатись та не утворювати розривів між ними.

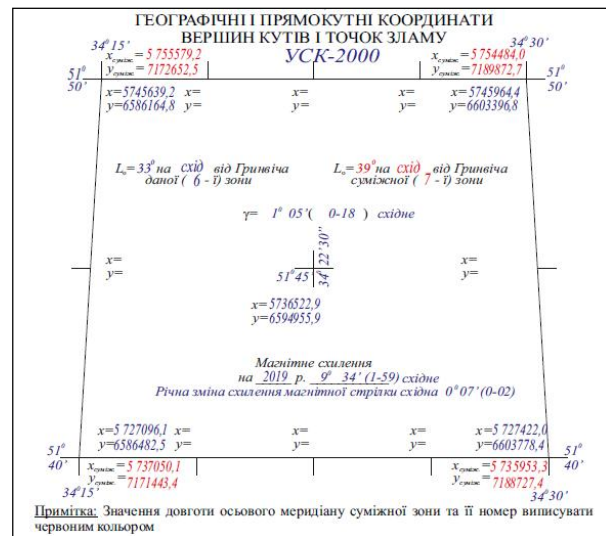


Рис. 1. Приклад сторінки формуляра аркуша карти масштабу 1: 50000 М-36-9-Г

За термінами стандарту Digital Geographical Information Standard (DIGEST) така організація даних відповідає 0-му рівню топології – моделі векторних даних, відомих як дані типу “spaghetti”. Кожна окрема рамка аркуша топографічної карти існує сама по собі: без урахування топологічних відношень із суміжними рамками аркушів топографічних карт.

Результати досліджень

Можливості стандартних засобів сучасних геоінформаційних систем та комп'ютерних технологій розглянуто та проаналізовано в попередніх роботах з метою вирішення завдання з необхідною та достатньою точністю і достовірністю для геодезичних і землевпорядних робіт, а саме визначення картометричних характеристик у геоінформаційному середовищі [Karpinskyi & Kin, 2020, Kin & Karpinskyi, 2020]. Чинний нормативний стан картометричних методів визначається застосуванням “Руководства по определению расчетных гидрологических характеристик” 1973 р. [Руководство, 1973].

Результати дослідження [Карпінський та Кінь, 2018] точності застосування картометричних і геодезичних методів свідчать, що застарілі аналогові картометричні операції та

стандартні засоби у використуваних геоінформаційних системах є наближеними, тому це зумовлює необхідність переходу до застосування строгих математичних методів.

Раніше відносна похибка вимірюваних довжин геодезичними приладами, наприклад, світловіддалемірами, могла становити 1/500 000 (1 см на 5 км). Вплив кривизни Землі потрібно враховувати, не зважаючи на відносні похибки вимірюваних довжин геодезичними приладами.

Насправді вплив кривизни Землі проявляється у всій продукції топографічного знімання і не залежить від її масштабу. Побудова моделі земної поверхні та її відображення має здійснюватися на референц-еліпсоїді. Тоді необхідно використовувати строгі аналітичні геодезичні методи в геоінформаційному середовищі.

Сьогодні опрацювання геодезичних вимірювань виконується у сучасних програмних засобах із застосуванням комп'ютерної обчислювальної техніки. Розв'язання систем рівнянь з трьома і більше невідомими, розкладення функцій у ряд Тейлора практично без обмежень кількості членів, обчислення інтеграла функції та інші операції математичного аналізу, що застосовують в сучасній геодезії та геоінформації, виконують досить швидко та з певною особливістю: використання формату даних із подвійною точністю (Double precision) або точніших (Long double), що займає у пам'яті 64 біти або 16 байт відповідно до стандарту IEEE 754.

Ця особливість вказує на те, що значення розв'язку – число з певним порядком після коми, які округляється залежно від необхідної величини. Стандарт IEEE 754 визначає п'ять правил округлення:

1) округлення до найближчого (прив'язка до парного числа). Якщо два найближчих числа із подвійною точністю однаково близькі, то має бути отримано число з парною найменшою цифрою (рекомендовано за замовчуванням для десяткового числа);

2) округлення до найближчого (прив'язка до нескінченності). Якщо два найближчих числа із подвійною точністю однаково близькі, має бути одержано число із більшим модулем;

3) округлення до 0 – округлення до нуля;

4) округлення до $(+\infty)$ – округлення до додатної нескінченності (також відоме як округлення вгору);

5) округлення до $(-\infty)$ – округлення до від'ємної нескінченності (також відоме як округлення вниз).

Недоліком округлень значень прямокутних координат точок під час переходу із геодезичних координат стандартними засобами ГІС є виникнення топологічних неузгодженостей на межах зон проєкцій Гаусса – Крюгера.

Таке явище виявлено під час створення цілісної бази топографічних даних “Основна державна топографічна карта”. Одними із основних вихідних даних були оновлені аркуші цифрових топографічних карт масштабу 1:50000 у 4-й, 5-й, 6-й та 7-й зонах проєкції Гаусса – Крюгера (рис. 2–4). Як результат запиту до БТД користувач має отримати дані про певний цілісний об'єкт, наприклад, про автомобільну дорогу М-06 (Київ–Чоп), яка має протяжність 900,9 км та перетинає 55 аркушів топографічних карт масштабу 1:50000. Такі цілісні об'єкти були сегментовані рамками аркушів цифрових топографічних карт, а в БТД вони повинні бути зведеними та утворювати покриття в єдиній системі координат. Таке покриття відповідає другому рівню топології – моделі векторних даних типу “Планарний граф” [Карпінський, 2015].

Для роботи з об'єктами, довжина яких понад 500 км, доцільно використовувати референц-еліпсоїд. Розрахунок картометричних характеристик і виконання геоінформаційного моделювання та аналізу мають здійснюватись з урахуванням впливу кривизни Землі.

Це забезпечить перехід до строгих комп'ютерних методів, що дають змогу визначати кількісні характеристики із надвисокою точністю.

Феномен виникнення топологічних неузгодженостей рамок суміжних аркушів топографічних карт масштабу 1: 50000 на межах зон проєкцій Гаусса – Крюгера виявлено у програмному засобі ArcGIS for Desktop 10.6.

Детальне дослідження цього феномену виконано у програмному засобі QGIS 3.24 стандартними засобами визначення відстаней на референц-еліпсоїді УСК-2000.

Для цього вибрано десять пар рамок аркушів топографічних карт масштабу 1: 50000 вздовж меридіанів 24°, 30°, 36° у 4-й, 5-й, 6-й та 7-й проєкціях Гаусса – Крюгера.

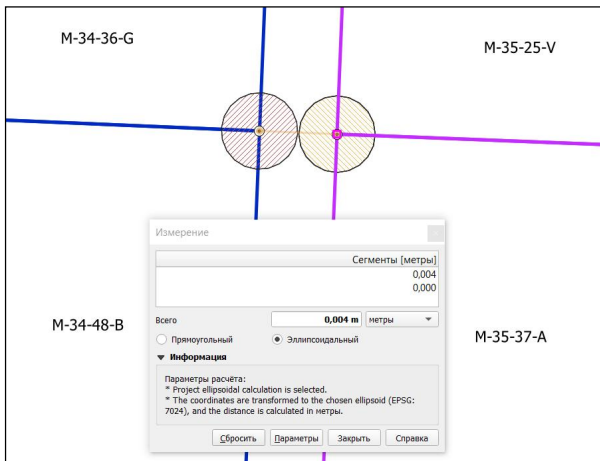


Рис. 2. Відстань між вершинами номенклатурних рамок аркушів масштабу 1: 50 000 4-ї та 5-ї зон проєкції Гаусса – Крюгера (приклад розривів)

№ з/п	B, °	L, °	Відстань між вершинами рамок аркушів масштабу 1:50 000 d, м
1	47°50'00"	24°00'00"	0,002
2	48°00'00"	24°00'00"	0,001
3	48°11'00"	24°00'00"	0,002
4	48°42'00"	24°00'00"	0,001
5	49°09'00"	24°00'00"	0,004
6	49°41'00"	24°00'00"	0,003
7	50°21'00"	24°00'00"	0,004
8	50°31'00"	24°00'00"	0,002
9	50°57'00"	24°00'00"	0,004
10	51°23'00"	24°00'00"	0,005

Таблиця 1

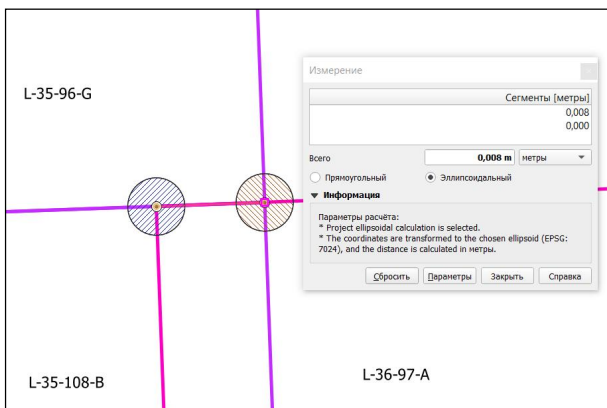


Рис. 3. Відстань між вершинами номенклатурних рамок аркушів масштабу 1:50 000 5-ї та 6-ї зон проєкції Гаусса – Крюгера (приклад накладання)

№ з/п	B, °	L, °	Відстань між вершинами рамок аркушів масштабу 1: 50 000 d, м
1	45°21'00"	30°00'00"	0,008
2	45°41'00"	30°00'00"	0,002
3	45°59'00"	30°00'00"	0,003
4	46°54'00"	30°00'00"	0,002
5	47°48'00"	30°00'00"	0,002
6	48°41'00"	30°00'00"	0,001
7	49°36'00"	30°00'00"	0,003
8	50°30'00"	30°00'00"	0,002
9	51°23'00"	30°00'00"	0,005
10	51°50'00"	30°00'00"	0,004

Таблиця 2

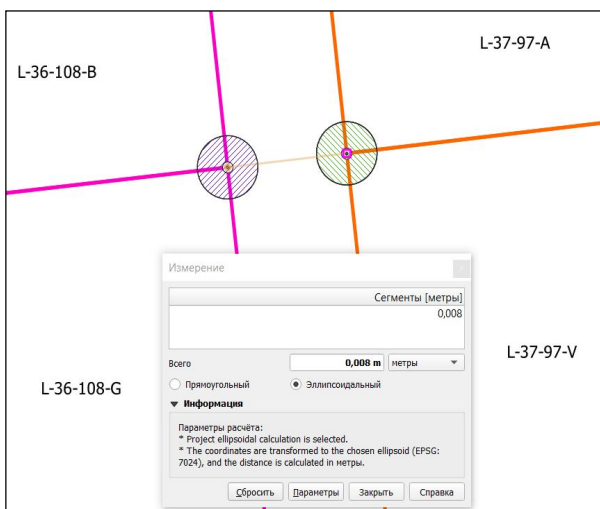


Рис. 4. Відстань між вершинами номенклатурних рамок аркушів масштабу 1: 50 000 6-ї та 7-ї зон проєкції Гаусса – Крюгера (приклад розривів)

№ з/п	B, °	L, °	Відстань між вершинами рамок аркушів масштабу 1:50 000 d, м
1	45°11'00"	36°00'00"	0,008
2	45°31'00"	36°00'00"	0,005
3	46°30'00"	36°00'00"	0,004
4	47°31'00"	36°00'00"	0,004
5	47°57'00"	36°00'00"	0,001
6	48°23'00"	36°00'00"	0,006
7	48°51'00"	36°00'00"	0,003
8	49°18'00"	36°00'00"	0,001
9	49°41'00"	36°00'00"	0,007
10	50°31'00"	36°00'00"	0,002

Таблиця 3

У табл. 1–3 подано значення відстаней між деякими вершинами рамок аркушів масштабу 1: 50000 залежно від широти та довготи. Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок про те, що наявні відстані до 8 мм на північних і південних межах зон проєкцій Гаусса – Крюгера.

Стандартні інструменти ГІС дають користувачу змогу виміряти, наприклад, довжину маршруту, площу певної території безпосередньо у мобільному пристрої чи на персональному комп'ютері. Зауважимо, що зазначені картометричні методи реалізують у середовищі ГІС без можливості задавання точності у вхідних даних для визначення картометричних характеристик. На зміну цьому приходять строгі комп'ютерні методи, які дають змогу застосовувати із встановленою користувачем точністю та визначати метричні властивості об'єкта місцевості.

Наведені рис. 5–8 демонструють зміни відстаней між вершинами рамок аркушів масштабу 1: 50000. Це величини у межах від 1 мм до 8 мм, що відображають сам феномен: розриви та накладання (*gaps, overlap*).

Графіки залежностей відстаней розривів та накладань від широти та довготи демонструють відсутність кореляції між цими двома величинами, оскільки їх коефіцієнти кореляції становлять від 0,0261 до 0,75 за допуску 0,8–0,9.

Це свідчить про те, що помилки топологічної неузгодженості є випадковими, а не систематичними.

Виявлені розриви і накладання є перешкодами для автоматизованих методів зведення аркушів цифрових топографічних карт та зшивання об'єктів бази топографічних даних.

Такі зміни відстаней впливають не тільки на створення цілісних об'єктів дорожніх споруд та залізниць, а й гідрографії, населених пунктів, політико-адміністративних меж тощо, тобто на весь об'єктний склад бази топографічних даних.

Під час створення бази топографічних даних “Базової топографічної карти масштабу 1:10000” проблеми з використанням номенклатурних рамок аркушів цифрових топографічних карт масштабу 1: 10000 також виникнуть, як на етапі оновлення та зведення цифрових топографічних карт, так і на етапі зшивання об'єктів у БТД. Щоб уникнути цього, необхідно передбачити два етапи:

- 1) перейти до точніших методів визначення координат кутів рамок аркушів топографічних карт;
- 2) фіксація значень координат кутів рамок аркушів під час створення еталонних рамок номенклатурних аркушів масштабів 1: 10000 та 1: 50000.

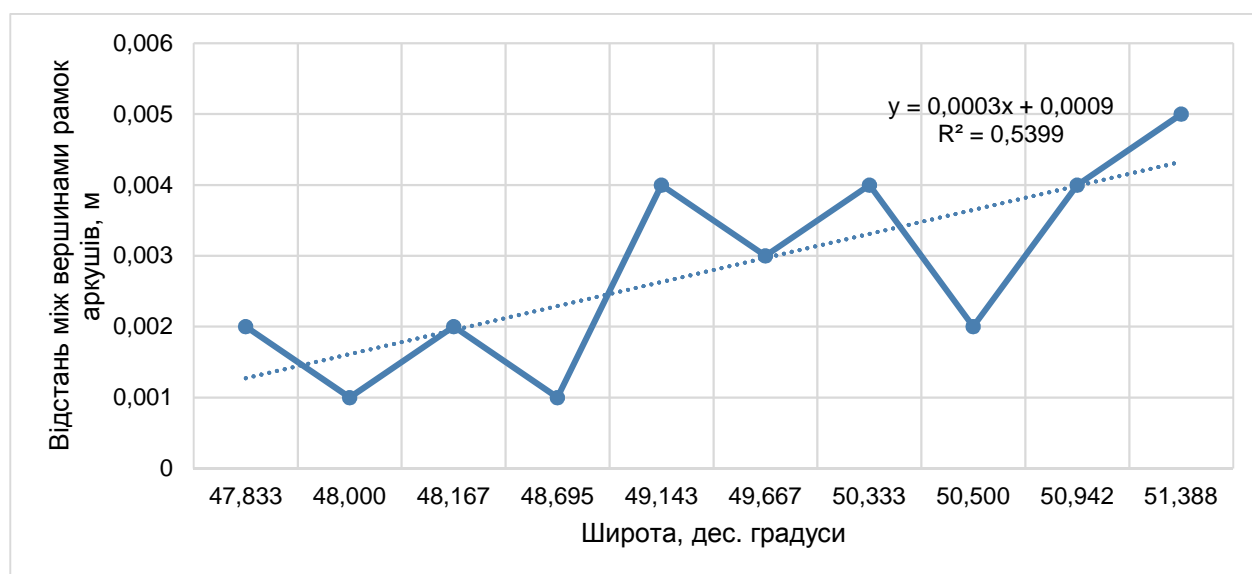


Рис. 5. Зміна відстаней між вершинами номенклатурних рамок аркушів масштабу 1: 50 000 4-ї та 5-ї зон проєкції Гаусса – Крюгера

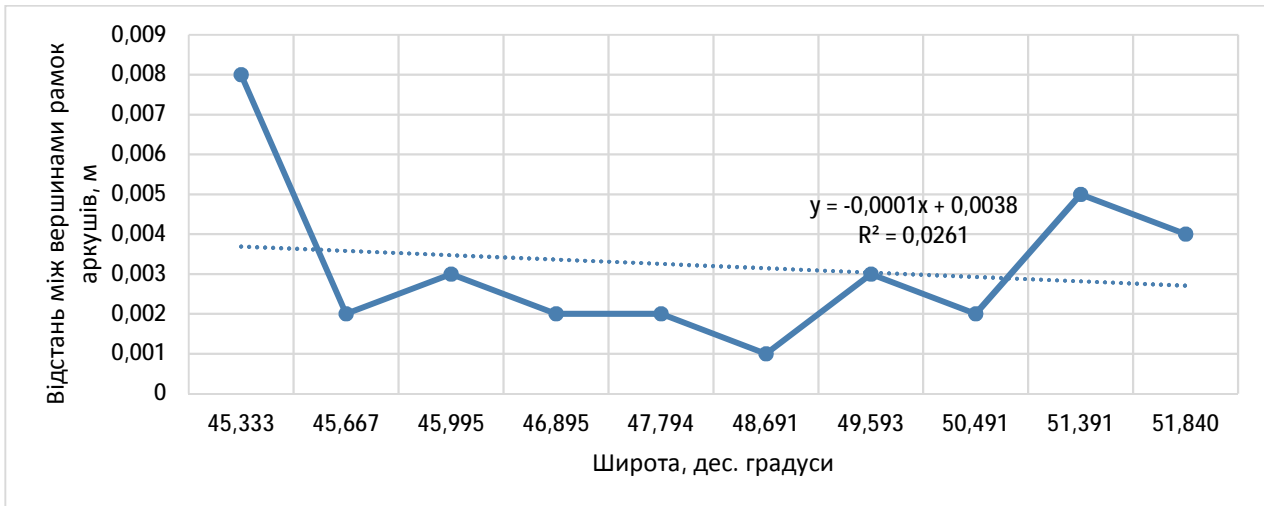


Рис. 6. Зміна відстаней між вершинами номенклатурних рамок аркушів масштабу 1: 50 000 5-ї та 6-ї зон проєкції Гаусса – Крюгера

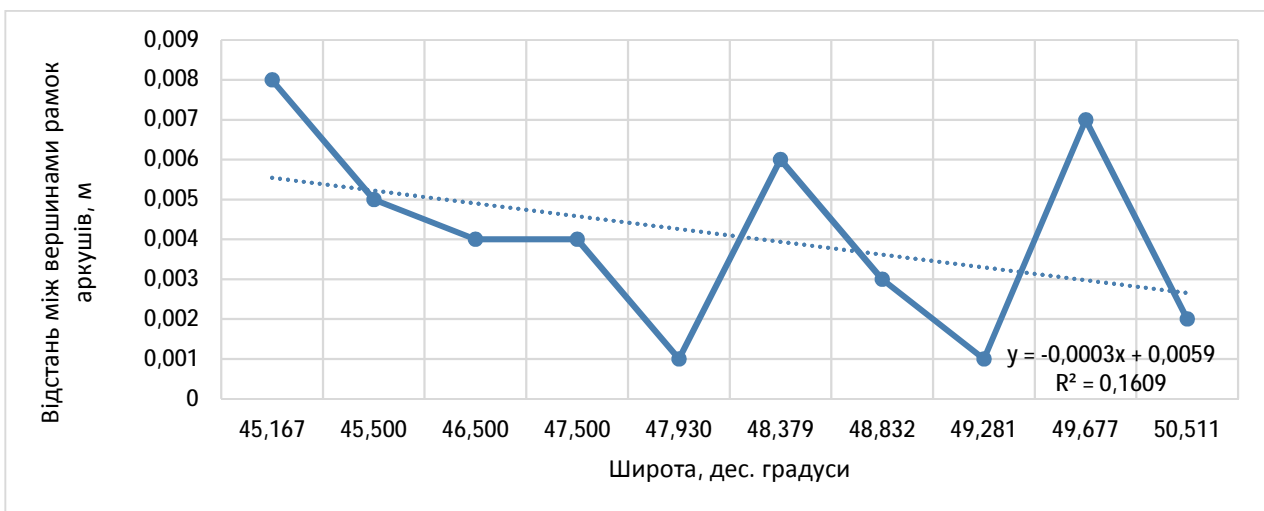


Рис.7. Зміна відстаней між вершинами номенклатурних рамок аркушів масштабу 1: 50 000 6-ї та 7-ї зон проєкції Гаусса – Крюгера

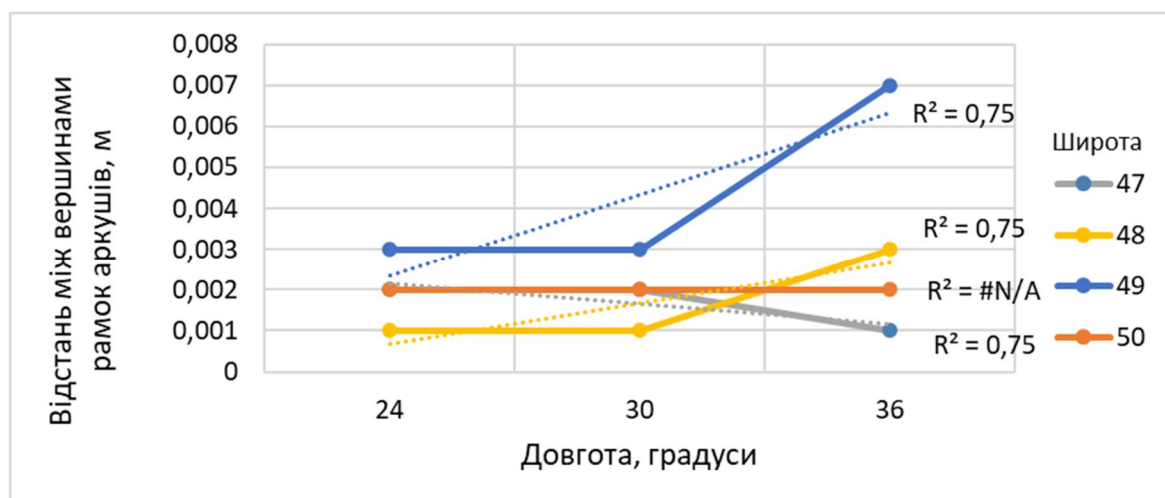


Рис. 8. Зміна відстаней між вершинами номенклатурних рамок аркушів масштабу 1:50 000 залежно від довготи

Наукова новизна та практична значущість

Наукова новизна виконаних досліджень полягає в обґрунтуванні застосування строгих аналітичних геодезичних методів та засобів замість аналогових картометричних і стандартних методів інструментальних ГІС; використання референц-еліпсоїда, а не лише картографічних проєкцій, сфероїда або сфери.

Практична значущість досліджень полягає у використанні строгих аналітичних геодезичних методів, які істотно мінімізують значення розривів і накладань, оскільки встановлення допусків для цих величин не дає змоги автоматизувати процес коректного зшивання та зведення аркушів топографічних карт.

Висновки

Під час зведення і зшивання суміжних аркушів цифрових карт у масштабі 1: 50000 із використанням стандартних методів картометричних операцій у середовищі ArcGIS виявлено феномен топологічних неузгодженостей: особливість утворення розривів і накладань (*gaps, overlap*) до 8 мм. Це нібито невелике значення топологічної неузгодженості стало певною перешкодою для автоматизації цих процесів.

Оверлейний (*overlay*) аналіз, з погляду геоінформаційного моделювання, на стадії автоматизованого зведення та зшивання геопросторових об'єктів на рамках суміжних аркушів карт, на стадії контролю якості цифрових топографічних карт визначає цей феномен як помилку – і не дає змоги сформуванню суцільні інтегровані геопросторові об'єкти. Величина розривів та накладань для таких випадків не має значення. Очевидно, що розграфлення аркушів топографічних карт повинно створювати суцільне топологічне покриття полігонів без розривів та накладань, тобто повинні виконуватися правила:

1) “не повинно бути розривів” (*must not have gaps*) – вимагає, щоб не було розривів у середині полігонів або між суміжними полігонами; усі полігони повинні формувати неперервне покриття;

2) “не повинні накладатися” (*Must Not Overlap*) – внутрішні частини полігонів не мають накладатися; полігони можуть мати спільні ребра або вершини.

Вирішення зазначеної проблеми та багатьох інших [Карпінський та Кінь, 2018; Лазоренко-Гевель та Кінь, 2019; Kin and Karpinskyi, 2020]

здійснено на основі застосування комп'ютерних методів у сучасних геоінформаційних системах. У перспективі заплановано наукові дослідження із розроблення нових методик для картометричних операцій, які би практично не мали обмежень для досягнення необхідної точності, зокрема і для надвеликих відстаней. Ці пропозиції будуть обґрунтуванням для внесення змін у нормативно-правові документи, що регулюють створення та оновлення геопросторових даних і реалізації геодезичних, картометричних та морфометричних методів у геоінформаційному середовищі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Барановський В. Д., Карпінський Ю. О., Лященко А. А. Топографо-геодезичне та картографічне забезпечення ведення державного земельного кадастру. Визначення площ територій. За заг. ред. Ю. О. Карпінського. Київ: НДІГК. 2009а. 92 с. (Сер. “Геодезія, картографія, кадастр”).
- Барановський В. Д., Карпінський Ю. О., Кучер О. В., Лященко А. А. Топографо-геодезичне та картографічне забезпечення ведення державного земельного кадастру. Системи координат і картографічні проєкції. За загальною редакцією Ю. О. Карпінського. Київ: НДІГК, 2009б. 96 с.: іл. (Сер. “Геодезія, картографія, кадастр”).
- Карпінський Ю. О. (2015). Системотехнічні аспекти формування топологічного земельно-кадастрового покриття. *Вісник геодезії та картографії*, (5–6), 62–68. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vgtk_2015_5-6_13
- Карпінський Ю. О., Кінь Д. О. (2018). Дослідження картометричних операцій в середовищі ГІС. *Містобудування та територіальне планування*, (68), 706–711. <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/7068>.
- Лазоренко-Гевель Н. Ю., Кінь Д. О. (2019). Методика зведення цифрових топографічних карт масштабу 1: 50 000 для створення Основної державної топографічної карти. *Інженерна геодезія*, (67), 56–66. <https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.67.56-66>.
- Рехтзамер Г. Р. Основы картографии: учеб. пособ. Л., 1974. 217 с. (ЛГМИ).
- Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеоздат, 1973. 112 с. <https://www.twirpx.com/file/1390547/>.
- Baselga, S., & Olsen, M. J. (2021). Approximations, Errors, and Misconceptions in the Use of Map Projections. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2021/1094602>.
- Berk, S., & Ferlan, M. (2018). Accurate area determination in the cadaster: Case study of Slovenia. *cartography and geographic information*

- science, 45(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/15230406.2016.1217789>.
- Cazabal-Valencia, L., Caballero-Morales, S. O., & Martínez-Flores, J. L. (2016). Logistic model for the facility location problem on ellipsoids. *International Journal of Engineering Business Management*, 8. <https://doi.org/10.1177/1847979016668979>.
- Chamberlain, R. G., & Duquette, W. H. (2007). *Some algorithms for polygons on a sphere*. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory. <http://hdl.handle.net/2014/40409>.
- Dong, J., Ji, H., Tang, L., Peng, R., & Zhang, Z. (2021). Accuracy analysis and verification of the method for calculation of geodetic problem on earth ellipsoid surface. In *E3S Web of Conferences*, Vol. 245, 02033. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124502033>.
- Fisikopoulos, V. (2019). Geodesic Algorithms: An Experimental Study. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(4/W14), 45–47. <https://pdfs.semanticscholar.org/0fd3/7bed6be199ee1766ae46a6ec2ed409d0304c.pdf>.
- Galo, M., Monico, J. F. G., & Oliveira, L. C. (2003). Cálculo de áreas de polígonos sobre o elipsóide usando projeções equivalentes. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 465–479. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3233.0240>.
- Gojković, Z., Radojičić, M., & Vulović, N. (2017). Application for coordinate transformation between Gauss-Kruger projection-Bessel ellipsoid and UTM projection-WGS84 ellipsoid. *Podzemni radovi*, 30, 29–45. <https://doi.org/10.5937/podrad1730029Z>
- Huang, H. (2017). Estimating area of vector polygons on spherical and ellipsoidal earth models with application in estimating regional carbon flows. *Student thesis series INES*. <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOID=8921924&fileOID=8922096>.
- Idrizi Bashkim (2020). Necessity for geometric corrections of distances in web and mobile maps. *Proceedings, Vol. 1, 8th International Conference on Cartography and GIS*, Nessebar, Bulgaria, 462–470.
- Karney, C. (2013). Algorithms for geodesics. *Journal of Geodesy*, Vol. 87, 43–55. <https://doi.org/10.1007/s00190-012-0578-z>.
- Karney, C. F. (2011). Transverse Mercator with an accuracy of a few nanometers. *Journal of Geodesy*, 85(8), 475–485. <https://doi.org/10.1007/s00190-011-0445-3>.
- Karpinskyi Yu., & Kin D. (2020). Research of the transition from cartometric to analytical operations. *XXV Jubilee International Scientific and Technical Conference “Geoforum-2020”*, Lviv, Ukraine. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34353.40806>.
- Kin, D., & Karpinskyi, Y. (2020). Peculiarities of the method of calculation feature’s geodetic area on the reference ellipsoid in GIS. *International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2020”*, Vol. 2020, No. 1, 1–5. European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20205757>.
- Kin, D., & Karpinskyi, Y. (2021). Ontology of geodetic, cartometric and morphometric methods in the geoinformation environment. In *Geoinformatics*, Vol. 2021, No. 1, 1–6. European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521101>.
- Lazorenko-Hevel N., Karpinskyi Yu. & Kin D. (2021). Some peculiarities of creation (updating) of digital topographic maps for the seamless topographic database of the Main State Topographic Map in Ukraine. *Geoingenieria Ambientale e Mineraria*, Anno LVIII, No. 1, 19–24. DOI: <https://doi.org/10.19199/2021.1.1121-9041.019>.
- Maling, D. H. (1989). Measurements from maps: principles and methods of cartometry. *Oxford: Pergamon press*.
- Martínez-Llario, J. C., Baselga, S., & Coll, E. (2021). Accurate algorithms for spatial operations on the spheroid in a spatial database management system. *Applied Sciences*, 11(11), 5129. <https://doi.org/10.3390/app11115129>.
- Marx, C. (2021). Performance of a solution of the direct geodetic problem by Taylor series of Cartesian coordinates. *Journal of Geodetic Science*, 11(1), 122–130. <https://doi.org/10.1515/jogs-2020-0127>.
- Morgaś, W., & Kopacz, Z. (2016). Analytical dependence relations of converting geodetic coordinates into UTM coordinates recommended in hydrographic work. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, 57(2 (205)), 61–73. <https://doi.org/10.5604/0860889X.1219971>.
- Morgaś, W., & Kopacz, Z. (2017). Conversion of geodetic coordinates into flat (2-dimensinal) coordinates PL-UTM for the purposes of navigation. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, 58. <https://doi.org/10.5604/0860889X.1237622>.
- Nishiyama, Y. (2012). Measuring Areas: From Polygons to Land Maps. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 81(1), 91–99. <http://www.ijpam.eu/>.
- Panou, G., Delikaraoglou, D., & Korakitis, R. (2013). Solving the geodesics on the ellipsoid as a boundary value problem. *Journal of Geodetic Science*, 3(1), 40–47. <https://doi.org/10.2478/jogs-2013-0007>.
- Panou, G., & Korakitis, R. (2021). Analytical and numerical methods of converting Cartesian to ellipsoidal coordinates. *Journal of Geodetic Science*, 11(1), 111–121. <https://doi.org/10.1515/jogs-2020-0126>.
- Pędzich, P., Balcerzak, J., & Panasiuk, J. (2009). *New approach to the Gauss-Kruger projection of an ellipsoid onto a sphere* (No. R3/RS). Department of

- Cartography, 11. <https://repo.pw.edu.pl/info/report/WUT31f242c159a84e35aa3642ca455cff39/#.Yqn7Kf1ByUk>.
- Peździch, P. & Kuźma, M. (2012). Application of methods for area calculation of geodesic polygons on Polish administrative units. *Geodesy and Cartography*, vol. 61, No. 2, 105–115. <https://doi.org/10.2478/v10277-012-0025-6>.
- Rapp, R. H. (1993). *Geometric geodesy* part 2. The Ohio State University.
- Setiawan, A., & Sedyono, E. (2020). Area calculation based on GADM geographic information system database. *Telkomnika*, 18(3), 1416–1421. <http://doi.org/10.12928/telkomnika.v18i3.14901>.
- Sjöberg, L. E., & Shirazian, M. (2012). Solving the direct and inverse geodetic problems on the ellipsoid by numerical integration. *Journal of Surveying Engineering*, 138(1), 9–16. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A515798&dswid=-9466>.
- Turiño, C. E. (2008). Gauss Krüger projection for areas of wide longitudinal extent. *International Journal of Geographical Information Science*, 22(6), 703–719. <https://doi.org/10.1080/13658810701602286>.
- Vermeer, M., & Rasila, A. (2019). *Map of the World: An Introduction to Mathematical Geodesy*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429265990>.
- Voser, S. A. (1999). Cartometric Aspects of Hybrid Analysis within GIS. *Semantic Modelling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps*, 61. <http://mapref.org/savpub/LinkedDocuments/voser-smati99.pdf>.
- Yildirim, F. & Kadi, F. (2021). Determining the area corrections affecting the map areas in GIS applications. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 112(1) 9–17. <https://doi.org/10.2478/rgg-2021-0003>.

Danylo KIN¹, Yurii KARPINSKYI²

¹ Department of Geoinformation system and photogrammetry, Kyiv National University of Construction and Architecture, 31, Povitroflotsky Ave, Kyiv, 03037, Ukraine, e-mail: kondanil24@gmail.com, <https://orcid.org/00000-0002-0185-2534>

² Department of Geoinformation system and photogrammetry, Kyiv National University of Construction and Architecture, 31, Povitroflotsky Ave, Kyiv, 03037, Ukraine, e-mail: karp@gki.com.ua, <https://orcid.org/00000-0002-0701-1277>

THE PHENOMENON OF TOPOLOGICAL INCONSISTENCIES OF FRAMES OF MAP SHEETS DURING THE CREATION OF THE MAIN STATE TOPOGRAPHIC MAP

The aim of this work – research of topological inconsistencies during adjustment and junction of adjacent map sheets of digital topographic maps of scale 1: 50000 with the use of rigorous analytical geodetic methods on the reference ellipsoid in the geoinformation environment. The research analyzes the phenomenon of topological inconsistencies of frames of adjacent digital topographic maps of 1: 50000 scale within the zones of Gauss-Krueger projections and the feasibility of transition to rigorous analytical geodetic methods in the geoinformation environment during the creation of the topographic database “The Main state topographic map” by determining the differences between the vertices of the frames of digital topographic maps at a scale of 1: 50000 at the boundaries of the projection zones. This phenomenon was discovered during work at the state enterprise “Research Institute of Geodesy and Cartography”. The dependences are shown and analyzed, which show the changes in the distances between the vertices of the frames of adjacent map sheets of scale 1: 50000 in longitude and latitude. These values range from 1 mm to 8 mm, which leads to topological inconsistencies in the form of gaps and overlaps of adjacent map sheets. These gaps and overlaps complicate the process of adjustment of map sheets and make it impossible to automate the process of the junction of features into the topographic database. The scientific novelty of the research is to justify the use of rigorous analytical geodetic methods and tools instead of analog cartometric and standard methods of instrumental GIS; the use of a reference ellipsoid, not just cartographic projections, a spheroid or a sphere. The practical significance of research is the use of rigorous analytical geodetic methods that significantly minimize the values of gaps and overlaps, as the establishment of tolerances for these values does not automate the process of correct adjustment and junction of map sheets. The performed research can be used to create the topographic database “The Basic topographic map scale 1: 10000”, during the creation and updating of geospatial data in the geoinformation environment and the implementation of geodetic methods to determine the cartometric characteristics of features using GIS. Given the results of research, we can conclude that the present stage of application of geographic information systems in topographic and geodetic activities requires increasing the level of data topology and accuracy of all cartometric methods, which leads to the transition to extremely rigorous analytical geodetic methods directly on the reference ellipsoid.

Key words: the reference ellipsoid; geodetic methods; gaps and overlaps; cartography; rigorous computer methods; the topographic database; cartometry; topology.

Надійшла 02.05.2022 р.