

## АНОТАЦІЯ

*Кінь Д. О.* Удосконалення методів геодезичних і картометричних обчислень у геоінформаційному середовищі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 – «Геодезія та землеустрій» (19 – «Архітектура і будівництво»). – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ. – Київський національний університет будівництва і архітектури, МОН України, Київ, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-прикладного завдання підвищення точності аналітичних та числових методів геодезичних та картометричних обчислень у геоінформаційному середовищі на основі застосування строгих математичних методів на поверхні референц-еліпсоїда без обмеження кількості членів ряду.

З розвитком комп'ютерних та геоінформаційних технологій користувачі все частіше використовують цифрові моделі місцевості для проектування, виконання досліджень, моніторингу, геопросторового аналізу та прогнозування. До цього моменту всі картометричні та морфометричні характеристики об'єктів визначались на друкованих картах за допомогою графічних та інструментальних методів. Максимальна їх точність не вище 0,1 мм і більше. Щоб визначити довжину або площу територій, які займали більше двох аркушів топографічних карт, треба було передбачати підготовчі роботи, а це зумовлювало додаткові ресурси та витрати. Також слід зазначити, що всі обчислення виконувались наближеними числовими методами, а для їх спрощення використовувались готові таблиці та довідники, що забезпечувало максимальну точність не менше 1 мм. Для вирішення головних геодезичних задач в залежності від довжини лінії між точками використовували різні поверхні математичної моделі Землі (Декартова система координат, проєкції, сфера, еліпсоїд тощо), що впливало на подання цієї лінії (пряма, хорда, геодезична лінія тощо) і на способи рішення геодезичних задач.

Універсальний розв'язок головних геодезичних задач існував, проте він вимагав достатню кількість ітерацій та розкладання біноміального ряду Тейлора на члени 6-ого і вище порядку. Без застосування комп'ютерних технологій це можливий, але дуже трудомісткий процес, що є не ефективним на виробництві.

Сучасний рівень геоінформаційних технологій дозволяє з достатньою швидкістю визначати довжини та площі об'єктів не залежно від їх розміру, перетворювати та трансформувати координати у різні дати та системи координат. Відкритим залишається питання точності цих операцій та застосування математичних моделей Землі, що є проблемним питанням цієї дисертаційної роботи.

Підвищення ефективності управління територіями, ведення державних кадастрів, зокрема Державного земельного кадастру, Державного водного кадастру та Державного лісового кадастру, потребує від геоінформаційних систем точних та достовірних геопросторових даних, визначення картометричних та морфометричних характеристик геопросторових об'єктів з необхідною та достатньою точністю.

Для вивчення та дослідження питання щодо точності геодезичних та картометричних операцій були проаналізовані та систематизовані етапи розвитку методів, за допомогою яких визначались метричні характеристики об'єктів на картах. Визначенні індекси точності та трудомісткості методів обчислення характеризують етапи цього розвитку і відображають процеси зменшення трудомісткості та підвищення точності обчислень, оскільки ці параметри є одними із головних в останніх дослідженнях науковців за цим напрямом. З метою уніфікації та систематизації операцій було створено реєстр геодезичних, картометричних та морфометричних обчислень відповідно до вимог стандарту ISO 19127:2019 Географічна інформація – Геодезичні коди і параметри, а також відповідні паспорти на операції та їх методи. Це дозволяє не залежно від мови програмування реалізувати функції цих обчислень у будь-якій геоінформаційній системі та системі керування базами даних.

Через недостатнє документування стандартних засобів у геоінформаційних системах або взагалі відсутність таких специфікацій було розроблено методику визначення можливостей стандартних засобів ГІС, що дозволило встановити яким чином та за допомогою яких моделей виконуються геодезичні та картометричні операції у комерційних ГІС та з відкритою ліцензією. Одним із основних результатів цього дослідження є створені еталонні моделі, які порівнювались з емпіричними, що дозволило зробити висновок: геоінформаційні системи практично не містять функціоналу для обчислень на референц-еліпсоїді, окрім деяких функцій QGIS.

На основі проаналізованих останніх досліджень було детально розглянуто метод Karney, у якому обґрунтовано та реалізовано використання розширеного ряду Крюгера для вирішення головних геодезичних задач на референц-еліпсоїді. Цей метод ліг в основу картометричних та геодезичних операцій, які були реалізовані у цій дисертаційній роботі. Також слід зазначити, що метод Karney був адаптований для території України, а саме змінено системи відліку, параметри еліпсоїда та додано цикли для визначення довжин за масивами геодезичних координат.

Також були окремо реалізовані функції перетворення плоских координат Гаусса-Крюгера із однієї зони в іншу; перетворення координат Гаусса-Крюгера із однієї зони в іншу зону проєкції UTM; визначення довжин дуг паралелі і меридіана; визначення площі знімальних трапецій аркушів масштабу 1:50000; визначення геодезичної площі з урахуванням редукування на референц-еліпсоїд Красовського за допомогою інтегрування по заданому контуру об'єкта методом Сімпсона.

Запропонована функція визначення довжини водотоку обчислює з точністю 0,0005 мм, що у 1000 разів більше у порівнянні з максимальною точністю інструментальних засобів. У 10000 разів збільшується точність обчислення геодезичної площі за методами Сімпсона і Karney від картографічної похибки  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^2$  до середньоквадратичної похибки обчислення геоінформаційним методом  $5,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^2$ .

*Ключові слова:* геоінформаційні системи, бази геопросторових даних, точність, числові та аналітичні методи, цифрові моделі поверхні, картометрія, моніторинг, строгі математичні методи, референц-еліпсоїд, площа, геодезичний моніторинг, GNSS, координати, геопросторовий аналіз, система координат.