АНОТАЦІЯ

Зіненко Р. О. Методи і моделі геовізуалізації на Національному геопорталі Національної інфраструктури геопросторових даних. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» (галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»). – Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, Київ, 2026.

Сучасний етап розвитку національних інфраструктур геопросторових даних вимагає фундаментального перегляду підходів до формування та відображення топографічної інформації. У дисертаційному дослідженні розв'язано науково-прикладне завдання забезпечення узгодженої багатомасштабної геовізуалізації через перехід від традиційної картографічної генералізації до сучасної геоінформаційної. Традиційна парадигма, яка розглядала створення карт різних масштабів як розроблення автономних картографічних продуктів, призводила до просторової невідповідності, дублювання зусиль під час оновлення та виникнення семантичних суперечностей між похідними рівнями. Геоінформаційна генералізація усуває ці недоліки, оскільки передбачає автоматизований і формалізований перехід від єдиного вихідного джерела інформації до кожного похідного масштабу ряду.

У роботі науково обґрунтовано та доведено, що використання базової державної топографічної карти в масштабі 1:10 000 як єдиного джерела вихідної інформації є основною вимогою для формування всього спектра дрібніших масштабів: 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000 та 1:1 000 000. Відмова від методу каскадної генералізації, за якого кожен наступний масштаб створюється на базі попереднього, на користь прямого генерування з єдиної актуальної основи масштабу 1:10 000 запобігає ефекту накопичення метричних та топологічних похибок. Такий підхід забезпечує відповідність змісту, просторову ідентичність та простежуваність об'єктів усього масштабного ряду через збереження стійких ідентифікаторів (TOID).

Для забезпечення відтворюваного та автоматизованого опрацювання топографічних даних у дослідженні розроблено математичну модель, що спирається на апарат дискретної математики, просторових предикатів та теорії множин. Ця модель формалізовано описує процес відбору об’єктів з каталогу карти масштабу 1:10 000 до карт менших масштабів, а також їх різного картографічного подання.

Фундаментальною відмінністю розробленої моделі є те, що включення об’єкта до похідного набору визначається не лише метричними порогами. Модель використовує систему характеристичних предикатів, які одночасно аналізують розмірні критерії (довжину, площу), а також функціональний статус і просторове оточення об’єктів. Завдяки цьому автоматично визначається допустимий геометричний перехід об’єкта. Зокрема, математичні оператори колапсу формалізують автоматизований перехід від полігональної моделі даних до точкової або лінійної моделі даних. Наприклад, якщо площа будівлі або водойми менша за поріг для масштабу 1:100 000, модель не вилучає її механічно, а допускає перехід до точкового відображення лише з урахуванням статусу об’єкта та його функціонального призначення (наприклад, збереження об’єкта як важливого орієнтира).

Математичні алгоритми набули предметної реалізації через розроблені прикладні схеми каталогу об’єктів, подані у вигляді уніфікованих UML-діаграм. Застосування об’єктно-орієнтованого моделювання (UML) дало змогу встановити ієрархію успадкування від абстрактного класу TopographicObject, який визначає спільні системні атрибути: ідентифікатори, версійність, межі масштабної придатності, – до конкретних тематичних пакетів.

У дослідженні детально опрацьовано шість класів топографічних об’єктів, для яких визначено специфічні правила відбору та топологічні обмеження. Інтеграція цих правил у прикладні моделі запобігає прийняттю геометрично коректних, але семантично або топологічно непридатних рішень під час переходу між масштабами.

Розроблені прикладні схеми спираються на методологічні засади міжнародних стандартів географічної інформації, зокрема ДСТУ ISO 19110:2017

«Географічна інформація. Методологія каталогізації об’єктів» та ДСТУ ISO 19131:2019 (ISO 19131:2007; Amd 1:2011, IDT) «Географічна інформація. Специфікація геопросторового продукту». UML-діаграми детально описують ієрархічну структуру класів просторових об’єктів топографічної карти 1:10 000, регламентують їхні атрибутивні домени, фіксують топологічні взаємозв’язки та інкапсулюють методи просторової поведінки – генералізації для кожного окремого класу при переході до дрібніших масштабів. Це дає змогу перенести предикатну логіку в прикладні схеми, придатні для інтеграції в об’єктно-реляційну СКБД, зокрема PostgreSQL/PostGIS, для автоматичного виконання просторових трансформацій.

Для реалізації формалізованих предикатів у роботі використано комплекс геоінформаційних методів картографічної генералізації, застосування яких відокремлено від кінцевого етапу графічної символізації. Дослідження доводить, що зміна масштабу є не просто візуальним зменшенням, а перетворенням об’єктної моделі.

Основні геоінформаційні оператори, використані в дисертації, включають:

- метод автоматизованого відбору (селекції): формування підмножин об’єктів, для яких підтверджено істинність масштабного предиката, з урахуванням семантичної повноти вихідних даних;
- метод геометричного спрощення: зменшення координатної деталізації ліній та полігонів за допомогою алгоритмів Дугласа – Пекера (оцінка за відстанню максимального відхилення) та Вісвалінгама – Вайатта (оцінка за ефективною площею). Спрощення суворо підпорядковується топологічним правилам, щоб, наприклад, скорочення вершин дороги не зруйнувало транспортний вузол;
- метод агрегування: об’єднання кількох просторово близьких і семантично сумісних об’єктів (наприклад, кварталів) у єдиний контур із фіксацією відношення множинного походження та перевіркою просторових конфліктів із вуличною мережею;
- метод геометричного колапсу: зміна просторової розмірності (від 2D до 1D або 0D) зі збереженням ідентичності топографічної сутності.

Кожен метод генералізації завершується обов'язковим топологічним контролем. Це дало змогу розмежувати метричну валідність результату та його картографічну прийнятність, відбраковуючи кандидатів, які генерують некоректні просторові взаємодії (наприклад, коли агрегований квартал перекриває вісь проїжджої частини).

Достовірність і працездатність розроблених методів і математичних моделей підтверджено їхньою апробацією на Національному геопорталі Національної інфраструктури геопросторових даних. Експериментальну апробацію виконано з використанням контрольного фрагмента базової державної топографічної карти.

Програмно-технологічна реалізація підтвердила інтероперабельність сформованих масштабних подань. Геовізуалізація та доступ до багатомасштабних наборів успішно протестовані через стандартизовані сервіси Відкритого геопросторового консорціуму (OGC): сервіси картографічних зображень (WMS), тайлові картографічні сервіси (WMTS) та сервіси об'єктного доступу до векторних геопросторових даних (WFS). Зіставлення результатів підтвердило збіг зображень WMS і WMTS та відповідність складу відповідей WFS сформованим масштабним наборам.

Окрім технологічної імплементації, результати дисертаційного дослідження мають нормативне значення. Розроблені автором математичні предикати відбору, прикладні UML-схеми та каталоги шести класів топографічних об'єктів були безпосередньо інтегровані до співавторського проєкту нормативно-технічного документа — «Специфікації наборів геопросторових даних топографічних карт масштабу 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000». Це формує єдину науково-методичну основу для узгодженого використання топографічних геопросторових даних держателями та виробниками в середовищі НІГД.

Наукова новизна одержаних результатів:

– розроблено математичну модель генералізації об'єктів різних масштабів із використанням просторових предикатів, критерії відбору в яких враховуються просторові характеристики, семантичні ознаки, функціональне призначення та

статус об’єктів, що дозволяє формалізувати правила відбору та трансформації просторових властивостей об’єктів при зміні масштабу візуалізації топографічних основ;

– розроблено каталоги класів об’єктів та уніфіковані моделі у формі прикладних схем Специфікацій наборів геопросторових даних топографічних карт масштабу 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 для класів Будівлі (Buildings), Квартали (Blocks), Автомобільні та ґрунтові дороги (Roads), Водойми (StandingWater), Ділянки водотоків та каналів гідрографічної мережі (Watercourse) і Деревна рослинність (Vegetation) на основі пооб’єктного підходу, де всі масштабні рівні інтегровано у структуру зазначених класів за допомогою системних атрибутів і довідників, що забезпечує автоматизовану генералізацію об’єктів цих класів для всіх масштабних рівнів як похідних від базової державної топографічної карти масштабу 1:10 000;

– удосконалено методи формування похідних масштабних представлень, у яких послідовно відокремлено рішення про включення об’єкта, визначення допустимої геометрії та роздільної здатності, застосування операторів генералізації та контроль результату, що забезпечує просторову та семантичну узгодженість усіх картографічних представлень просторових об’єктів всього масштабного ряду 1:25 000 – 1:1 000 000.

Практичне значення одержаних результатів полягає в забезпеченні автоматизованої генералізації просторових об’єктів у геопортальних рішеннях і геоінформаційних системах на основі проєкту «Специфікації наборів геопросторових даних топографічних карт масштабу 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000». Результати використано в діяльності ДП «НДІГК» під час розроблення та апробації технологічних рішень Національного геопорталу НІГД.

Основні результати дисертації опубліковано у восьми наукових працях: п’яти статтях у наукових фахових виданнях України та трьох працях, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації на міжнародних наукових конференціях.

Ключові слова: геовізуалізація, національна інфраструктура геопросторових даних, Національний геопортал, геопросторові дані, базова державна топографічна карта, математична модель генералізації, просторові предикати, методи формування похідних масштабних представлень, багатомасштабне представлення, автоматизована генералізація, каталог об’єктів, прикладні моделі, специфікація наборів геопросторових даних, інтероперабельність, WMS, WMTS, WFS.