

УДК 528:004.9

Лазоренко-Гевель Надія Юрївна

Кандидат технічних наук, асистент кафедри геоінформатики і фотограмметрії, orcid.org/0000-0002-1572-4947
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Денисюк Богдан Іванович

Старший викладач кафедри геоінформатики і фотограмметрії, orcid.org/0000-0003-1692-8551
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ
В ОБ'ЄКТНО-РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗАХ ТОПОГРАФІЧНИХ ДАНИХ**

***Анотація.** Інтенсивні зміни рельєфу земної поверхні під впливом природних та антропогенних факторів обумовили завдання швидкого корегування цих змін в раніше побудованих цифрових моделях рельєфу з найменшими фінансовими і часовими витратами. Розглянуто наявні моделі та методи побудови ЦМР з метою їх порівняння і визначення оптимальності їх використання в об'єктно-реляційних базах топографічних даних. Поява нових методів збирання геопросторових даних спричинила зміну підходу порівняння наявних цифрових моделей рельєфу між собою до порівняння цих моделей з моделлю ЦМР, отриманою в результаті лідарного знімання з відповідним корегуванням її структурними лініями. Автори пропонують виконувати порівняння основних моделей ЦМР з моделлю, отриманою за допомогою лідарного знімання та застосування модуля Terrain для зберігання великих об'ємів геопросторових даних та її швидкої візуалізації.*

***Ключові слова:** цифрова модель рельєфу; інтерполяційні методи; TIN-модель; лідарне знімання; GRID-модель*

Вступ

Сучасний стан розвитку геоінформаційних технологій характеризується стрімким переходом до широкого використання об'єктно-реляційних баз топографічних даних (БТД), які є ядром формування національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД), для підтримки прийняття управлінських рішень, створення й ведення автоматизованих систем державних кадастрів, глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) та ін. Оскільки у вищенаведених системах цифрові топографічні дані становлять основу для координатно-просторової прив'язки тематичних даних, які отримуються контактними та дистанційними методами збирання даних в результаті інженерно-геодезичних вишукувань, земельно-кадастрових робіт, розмежування та межування земель, статистичних досліджень та інших спеціальних обстежень [4].

Цільовим об'єктом БТД є цифрова модель місцевості, яка складається з сукупності дискретних топографічних об'єктів та цифрових моделей рельєфу (ЦМР), які власне і є предметом цього дослідження.

ЦМР (digital terrain model, DTM; digital elevation model, DEM; Digital Terrain Elevation Data, DTED) – засіб цифрового подання тривимірних просторових об'єктів (поверхонь, рельєфів) у

виді тривимірних даних як сукупності висотних відміток або відміток глибин та інших значень аплікату у вузлах регулярної сітки з утворенням матриці висот, нерегулярної трикутної сітки (TIN) або як сукупності записів горизонталей (ізогіпси, ізобат) або інших ізоліній.

В англійській науково-технічній літературі розрізняють цифрову модель висот (digital elevation model, DEM) і похідну від неї цифрову модель рельєфу (digital terrain model, DTM) як сукупність похідних морфометричних показників. Ці терміни пов'язані частково з найменуванням і змістом американського стандарту на ЦМР (DEM), а також з багатозначністю слова "terrain" є також підставою для його тлумачення і використання в поєднанні "digital terrain model" як цифрової моделі місцевості; розвиток методів створення ЦМР шляхом опрацювання зображень на цифрових фотограмметричних станціях призвів до появи терміну "цифрова модель поверхні" [13].

Дане дослідження базується на використанні серії міжнародних стандартів ISO 19100 "Географічна інформація/Геоматика" та розробленого технічним комітетом ТК 103 проекту стандарту СОУ 742-33739540 0013:2010 "Комплекс стандартів База топографічних даних Правила цифрового опису рельєфу", який є одним з основних для цієї проблематики. Він встановлює правила цифрового опису рельєфу в базі топографічних

даних і містить вимоги до: видів, структури та складу цифрових моделей рельєфу в базі топографічних даних; якості цифрових моделей рельєфу; метаданих про цифрові моделі рельєфу [8].

Мета статті

Рельєф земної поверхні інтенсивно змінюється під впливом природних та антропогенних факторів, тому виникає завдання швидкого корегування цих змін в раніше побудованих цифрових моделях рельєфу з найменшими фінансовими і часовими витратами. В статті пропонується огляд наявних моделей та методів побудови ЦМР з метою їх порівняння і визначення оптимальності їх використання в об'єктно-реляційних базах топографічних даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема дослідження рельєфу та його моделювання для вирішення різноманітних наукових і прикладних інженерних завдань віддавна є актуальною для сучасної науки. Теоретичними та практичними дослідженнями різних методів моделювання в цій галузі знань займалися такі відомі вчені колишнього Радянського Союзу та України: Х. В. Бурштинська, О. Л. Дорожинський, І. Г. Журкін, П. М. Зазуляк, Ю. О. Карпінський, І. Д. Ковальчук, О. М. Ласточкін, Г. П. Левчук, А. А. Лященко, В. М. Мельник, О. Р. Мусін, І. Г. Черваньов, О. В. Поздняков, Р. М. Рудий, С. Н. Сербенюк, Г. А. Шинкаренко та інші, а також зарубіжні вчені М. Armstrong, F. Ammannati, V. Betti, F.J. Doyle, F. Divenyi, B. Markus, M.A. Oliver, A.G. Royle, F.L. Clausen, P. Frederiksen, G.M. Philip, D.F. Watson, M. Vencovsky та інші.

Для створення коректних моделей рельєфу реальної місцевості різні автори намагалися використовувати різні методи апроксимації поверхонь.

Використання *методу середнього вагового* як способу апроксимації рельєфу описано в працях С. Н. Сербенюка, С. М. Кошеля, О. Р. Мусіна [6]; G.M. Philip, D.F. Watson, G.M. Philip та D.F. Watson [13 – 14]. Крім методу середнього вагового, вчені описують ще три методи: триангуляції, аналітичних сплайнів та кусково-поліноміального згладжування, не роблячи висновків про пріоритетність якогось із них. Дослідження різних методів апроксимації поверхонь для побудови ЦМР проводить і А. Л. Фукс [10].

Метод *кригінг* (kriging), який є оптимальним методом інтерполяції рельєфу, особливо для нерівномірно розподілених вхідних даних, досліджували та використовували для вирішення

практичних задач: В. І. Аронов, Б. І. Малюк, М. Давид, А. О. Мазарович, С. Ю. Соколов, В. І. Щеглов, M. Armstrong, A. Dermanis, A.B. McBratney, R. Webster, M.A. Oliver, A.G. Royle, F.L. Clausen, P. Frederiksen, G.S. Watson, C.D. Lloyd, P.M. Atkinson.

Метод сплайнів для побудови цифрової моделі рельєфу досліджували: М.Д. Горбик, С. В. Сомов, А. Г. Воротинцев, В. Н. Гуров, В. В. Зіборов, І. Г. Журкін, В.С. Коркін, R. Detering, B.A. Eckstrein, R. Franke, L. Mitas, H. Mitasova. Застосуванням бікубічних сплайнів на прямокутній сітці присвячені роботи: А.Г. Воротинцева, R. Detering.

В. Н. Гуров та В. В. Зіборов [21] розглядали алгоритми використання білінійних та бікубічних сплайнів для мінімізації різних функціоналів для нев'язок. Алгоритми побудови математичної моделі рельєфу з використанням сплайн-функцій розглянуті В.А. Eckstrein у праці [15]. Проблеми застосування сплайн-апроксимацій для створення неперервних поверхонь як у теоретичному, так і у практичному аспектах, зокрема питання гладкості та її залежності від різних параметрів, розглянуті у працях R. Franke [16] та L. Mitas, H. Mitasova [17]. Обмеженість методу сплайнів полягає в надмірній гладкості одержуваних за допомогою цього методу поверхонь.

Дослідження мотивоване такими нормативними документами:

- ISO 19107: Geographic information – Spatial schema (Географічна інформація – Просторова схема);

- ISO 19123: Geographic information – Schema for coverage geometry and functions (Географічна інформація – Схема для геометрії й функцій покриття);

- СОУ 742-33739540 0010:200 "Комплекс стандартів База топографічних даних Загальні вимоги";

- СОУ 742-33739540 0011:2010 "Комплекс стандартів База топографічних даних Каталог об'єктів і атрибутів";

- СОУ 742-33739540 0013:2010 "Комплекс стандартів База топографічних даних Правила цифрового опису рельєфу";

- Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 та 1:500;

Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1000000 (Затверджені наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України №156 від 31.12.1999 р. і погоджені з Воєнно-топографічним управлінням Генерального штабу Збройних сил України).

Виклад основного матеріалу

Зважаючи на широке використання цифрових моделей рельєфу для вирішення різноманітних наукових та практичних завдань в топографо-геодезичному та картографічному виробництві, наукових дослідженнях та в інших галузях, ЦМР повинна бути придатною для застосування і коректно описувати рельєф земної поверхні. Цифрові моделі рельєфу застосовують для вирішення таких практичних завдань:

- інтерполяції висот в довільній точці місцевості;
- отримання похідних морфометричних або інших даних, включаючи обчислення кутів ухилу та експозиції схилів;
- побудови й аналізу зон видимості/невидимості;
- побудови тривимірних зображень, профілів поперечного перетину;
- оцінювання форми схилів через кривизну їх поперечного і поздовжнього перетину, вимірювану радіусом кривизни головного нормального перетину або її знаку, тобто опуклістю/увігнутістю поверхні;
- формування ліній мережі тальвегів і вододілів, що утворюють каркасну мережу рельєфу, його структурних ліній або сепаратрис та інших особливих точок і ліній рельєфу: локальних мінімумів або западин та локальних максимумів або вершин, сідловини, брівок, ліній обривів та інших порушень "гладкості" поверхні, плоских поверхонь з нульовою крутістю;
- побудови ізоліній на множині значень висот або тривимірній моделі поверхні;
- автоматизації аналітичного відмивання рельєфу шляхом розрахунку відносної освітленості схилів при вертикальному, бічному або комбінованому освітленні від одного або більше джерел світла;
- цифрового ортотрансформування при цифровому опрацюванні зображень та інших обчислювальних операціях в графоаналітичних побудовах;
- трансформації вихідної моделі шляхом додавання нових даних;
- розрахунку площ поверхні, розрахунку рівнів і площ затоплення і т.д.

Об'єктом цифрового моделювання є рельєф земної поверхні таких типів: перша відбивна (отримана методами дистанційного зондування і відображає верхи природних і штучних об'єктів місцевості), чиста земна (на якій відсутні об'єкти), батиметрична (поверхня дна водних об'єктів), мішана (поєднані ознаки різних типів: наприклад, чистої земної та батиметричної поверхонь з метою вивчення берегів).

Обов'язковими для подання в базі топографічних даних є цифрові моделі чистої земної та батиметричної поверхонь.

Процес цифрового моделювання рельєфу включає в себе операції зі створення, опрацювання, зберігання та використання ЦМР в об'єктно-реляційній базі топографічних даних для забезпечення повного, точного, коректного, оперативного та актуального подання рельєфу у вигляді нерегулярного набору точок та структурних (орографічних) ліній, набору горизонталей, TIN-моделей та регулярного набору точок (GRID-моделей).

Базовими вхідними моделями рельєфу є нерегулярний набір точок, в якому безпосередньо подані вихідні дані у вигляді наборів тривимірних точок та сукупність структурних ліній (орографічна модель), до яких входять орографічні лінії та лінії штучних змін рельєфу (рис. 1).

Рельєф як різновид географічного поля може подаватися в БТД такими цифровими моделями: нерегулярний набір точок, нерегулярна мережа трикутників (TIN-модель) (рис. 2), матриця значень висот у вузлах (чарунках) регулярної сітки (GRID-модель) або як сукупність ізоліній (картографічна модель). При цьому TIN-модель, як правило, створюється на основі нерегулярного набору точок і множини орографічних (структурних) ліній та розглядається як базова для формування цифрових моделей рельєфу інших типів.

Сукупність цифрових моделей дискретних топографічних об'єктів та цифрових моделей рельєфу (ЦМР) утворює комплексну ЦММ, яка і є цільовим об'єктом БТД, що реалізується в середовищі об'єктно-реляційної бази даних та створюється незалежно від об'єктного складу, системи класифікації умовних знаків, генералізації та інших обмежень щодо топографічних карт [3; 4].

Точність створення цифрової моделі рельєфу залежить від чотирьох основних чинників: способів подання вихідної інформації, кількості та розташування вихідних точок, методів математичного моделювання рельєфу та вибору кроку дискретизації моделі.

Детальний огляд цифрових моделей рельєфу: картографічна, орографічна (структурна), регулярна, триангуляційна та їх побудова за алгоритмом Делоне розглянуто в публікації [5]. Наведені вище моделі автори пропонують як основні, а оптимальною моделлю визначають орографічно-триангуляційну, при якій ребра триангуляції повинні збігатися з головними орографічними лініями: вододілом, тальвегом, брівкою, підшовою.

Далі пропонується порівняння моделей побудови ЦМР (табл. 1) та нижче подано порівняльну характеристику деяких методів їх побудови (табл. 2).

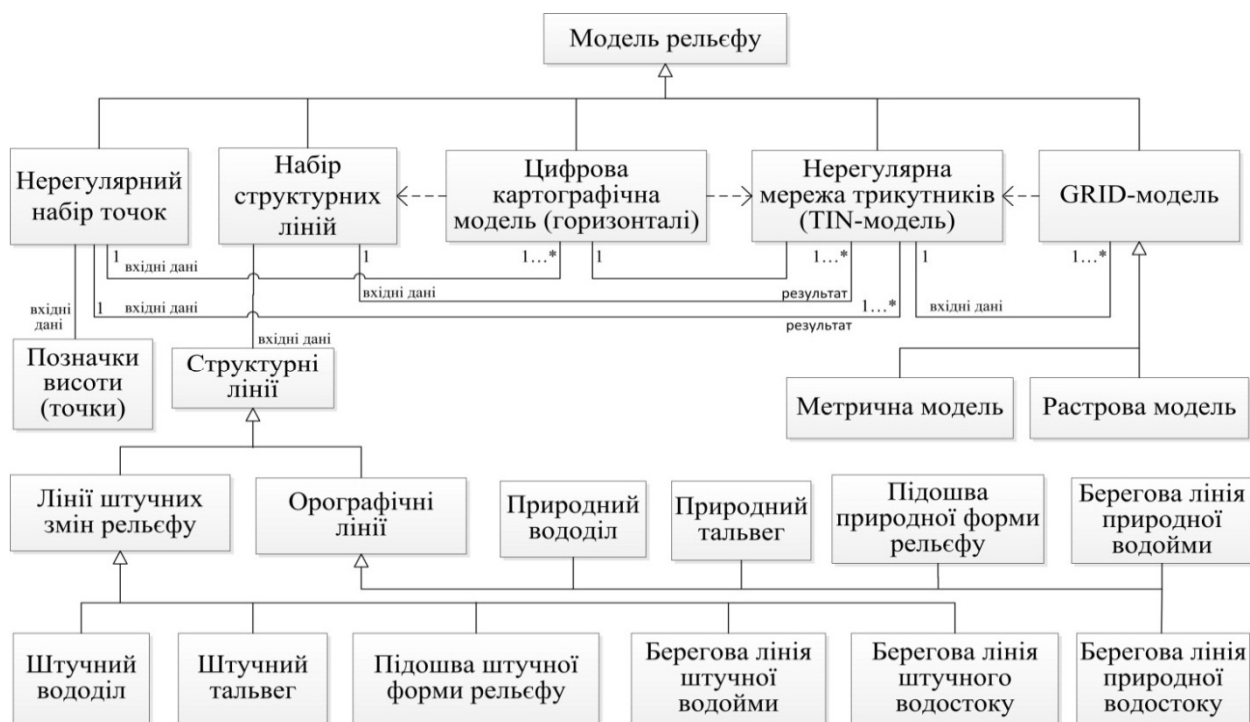


Рисунок 1 - Структурне подання об'єктів рельєфу та їх цифрових моделей [8]

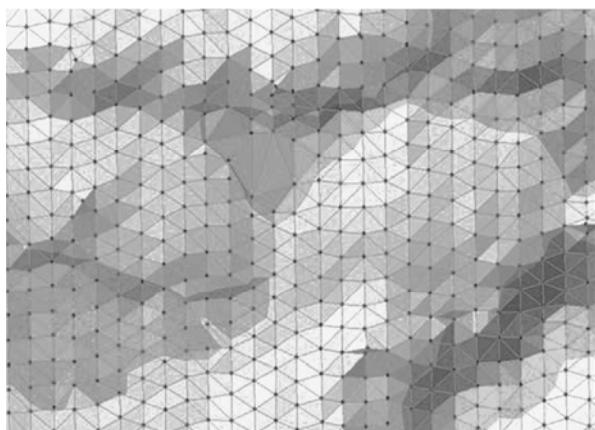


Рисунок 2 - TIN-модель

Головною умовою досягнення узгодженості між виробниками й користувачами вимог до змісту і якості даних цифрових моделей рельєфу незалежно від методів, технологій, технічних засобів та програмного забезпечення, що застосовується для створення та оновлення ЦМР в об'єктно-реляційних базах топографічних даних, розроблення форматів обміну цифровими моделями рельєфу; формуванні метаданих для цифрових моделей рельєфу; оцінці та сертифікації створених або модифікованих наборів топографічних даних, що містять цифрові моделі рельєфу, є користування єдиними правилами цифрового опису рельєфу. Вони розроблені комітетом ТК 103 як проект стандарту в 2010 році.

З метою швидкого корегування змін в побудованій раніше цифровій моделі рельєфу пропонується структурування в об'єктно-реляційній базі даних: сукупність точок нерегулярної мережі складають трикутники, сукупність трикутників складають полігони, які обмежуються структурними лініями. Кожний полігон містить n -кількість трикутників, сторони яких збігаються з орографічними лініями, як було зазначено вище. Це дозволяє застосувати метод просторової індексації, який при будь-яких змінах рельєфу, що відбуваються на певній ділянці чи ділянках земної поверхні, в яку входять декілька трикутників, швидко перебудовує наявну ЦМР в тій ділянці, в якій відбулися зміни, а не повністю всю вихідну модель. Залежно від розмірності множини вхідних даних (множини координат вихідних точок) у системі орографічно-триангуляційної моделі застосовуються різні функції класу попереднього впорядкування цих даних, до яких належать: функції лінійного впорядкування множини точок (сортування точок за ступенем зростання координат X та Y), клітинкового та смугового розбиття вихідної множини точок або породження для кожного класу просторового індексу. Отже, метод просторової індексації дозволяє прискорити пошук точок за певною просторовою умовою без перебирання всієї множини [5].

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики цифрових моделей рельєфу

Модель	Переваги	Недоліки
Цифрова картографічна модель (горизонталі)	<ul style="list-style-type: none"> – Невеликі об'єми збереження даних на носіях; – топографічні карти є найбільш доступними з точки зору цінової політики; – виділяє основні риси рельєфу в масштабі карти, роблячи їх більш характерними для даного типу рельєфу; – містить значно більше атрибутивної інформації про об'єкти місцевості 	<ul style="list-style-type: none"> – Великі трудові і фінансові затрати; – недостатня точність моделювання [1]; – зображення рельєфу горизонталями не дозволяє отримати відмітку будь-якої точки
GRID	<ul style="list-style-type: none"> – Швидке комп'ютерне опрацювання; – легке зберігання і маніпулювання даними; – легко інтегрується з растровими базами даних; – отриманий рельєф місцевості плавний і має більш природний вигляд. 	<ul style="list-style-type: none"> – Неможливість використання різних розмірів сітки з урахуванням областей різної складності рельєфу; – займають більше місця на диску, ніж моделі TIN
TIN	<ul style="list-style-type: none"> – Можливість опису поверхні на різних рівнях роздільної здатності; – ефективність зберігання даних 	<ul style="list-style-type: none"> – Великі ресурсні затрати на опрацювання моделі; – у багатьох випадках потрібна візуалізація і ручне керування мережею; – виникає ефект терас, що виражається в появі «псевдо трикутників», що виникає при створенні, на основі горизонталей без урахування структурних ліній рельєфу (наприклад, по лінії днища V-подібних долин) [9]
Структурна	<ul style="list-style-type: none"> – Унеможливує виникнення "псевдо трикутників" (які виникають там, де всі три вершини трикутника лежать на одній горизонталі), в результаті чого порушуються морфографія і морфометрія рельєфу, що моделюється, і відповідно знижується точність і якість самої моделі та її похідних [11]; – значно покращує якість і морфологічну правдоподібність ЦМР [11]; – дає змогу здійснювати практичне моделювання рельєфу великої і дуже великої розмірності [5] 	<ul style="list-style-type: none"> – Додаткові витрати на формування структури

Все ширше використання даних високого просторового розрізнення про місцевість, таких як результати знімання лазерними далекомірами (LIDAR), призвело до того, що подання зі статичним просторовим розрізненням, що подібні TIN-моделі, швидко стали громіздкими для великих обсягів даних великомасштабних зніманих значних за площею територій. Для зберігання подібних даних в структурі бази геоданих було розроблено **Терейн** (*Terrain*) подання місцевості. Терейн – це структура,

що заснована на TIN-моделі зі змінним просторовим розрізненням.

Терейн зберігається як серія класів просторових об'єктів, таких як точки з відмітками висот і структурні лінії, та набір правил, що визначають, як ці дані повинні бути використані для відтворення всієї поверхні. В середовищі ArcGIS 10.2 TIN, як і покриття, зберігається у вигляді папки файлів, але на відміну від покриття він не має пов'язаних з ним INFO-файлів.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика деяких методів створення ЦМР

Метод	Переваги	Недоліки
Метод сплайнів (spline)	<ul style="list-style-type: none"> – Висока швидкість опрацювання обчислювального алгоритму; – є оптимальним методом для плавної поверхні, таких як рельєф, рівень ґрунтових вод або концентрація забруднюючих речовин 	<ul style="list-style-type: none"> – Висока залежність точності моделювання поверхні від розміщення точок вимірювань, особливо критичне значення має наявність точок на структурних лініях поверхні-оригіналу вододілах і тальвегах, якщо мова йде про топографічну поверхню. Результат інтерполяції залежить також і від характеру виділення фрагментів; – при значних змінах поверхні на короткому інтервалі з'являється значна помилка інтерпольованих значень
Метод обернено-зважених відстаней (IDW)	<ul style="list-style-type: none"> – Кращі результати виходять при інтерполяції даних з достатньою щільністю, вихідні точки розподілені по досліджуваній території рівномірно 	<ul style="list-style-type: none"> – Погано інтерплює різкі піднесення і западини (круті гори і долини) і виникає ефект "bull eyes"
Метод кригінга (kriging)	<ul style="list-style-type: none"> – Можливість обґрунтування величини радіуса околу розглянутої точки, яка повинна враховуватися при інтерполяції, вид вагової функції, а також можливість оцінювання точності просторової інтерполяції 	<ul style="list-style-type: none"> – Низька швидкість побудови на протигагу точності; – потребує лише нормального розподілу вихідних даних
Метод інтерполяції за найближчим сусідом (natural neighbor)	<ul style="list-style-type: none"> – Метод застосовується для вибірок з достатньою щільністю значень, наприклад, даних повітряного лазерного сканування (лідарної зйомки), що дозволяє створювати об'ємну модель території 	<ul style="list-style-type: none"> – Має місце стрибкоподібна зміна значень змінної на кордонах полігонів
Метод трендів (trend)	<ul style="list-style-type: none"> – У результуючій поверхні мінімізоване відхилення від значень вхідних точок 	<ul style="list-style-type: none"> – Генералізує загальну картину даних, і сама поверхня рідко коли проходить через опорні точки

Каталог TIN містить 7 файлів, які описують поверхню, закодовану у бінарному форматі.

Також, як і покриття, TIN містить інформацію про топологію, яка явно зберігається у файловій структурі. В ній розраховується та зберігається для кожного трикутника інформація про: суміжні трикутники; ребра, які утворюють трикутник, та вузли (включаючи Z-координати) трьох кутів (рис. 3).

Правила також визначають та вказують як застосовані класи просторових об'єктів повинні бути інтегровані на різних масштабних рівнях. Наприклад, для дуже малих масштабів, можливо, немає необхідності в опрацюванні даних для врахування невеликих структурних ліній, які не будуть помітно впливати на вид моделі місцевості в цьому масштабі. Такі структурні лінії будуть брати участь у Terrain-моделі лише у певних, більших масштабах. Залежно від необхідного рівня деталізації, для заданого масштабу в Terrain-моделі

також буде використовуватися більше чи менше точок з відмітками висот (а в результаті буде більше чи менше трикутників) залежно від вимог відображення. Таким чином, Terrain-модель, що складається з мільйонів точок, може швидко відображатися в різних масштабах.

Терейн не зберігає завершене подання поверхні, оскільки це обчислювана "на льоту" TIN-модель, що посилається й використовує дані джерела відповідно до поточного масштабу відображення поверхні. Таким чином TIN-модель створена з Terrain-структури обчислюється "на льоту" і ніколи не зберігається постійно.

Обмеження щодо зберігання даних для Terrain аналогічні обмеженням для інших форматів даних (наприклад, векторні або растрові дані), і залежать знову ж таки від типу бази геопросторових даних, що використовуються.

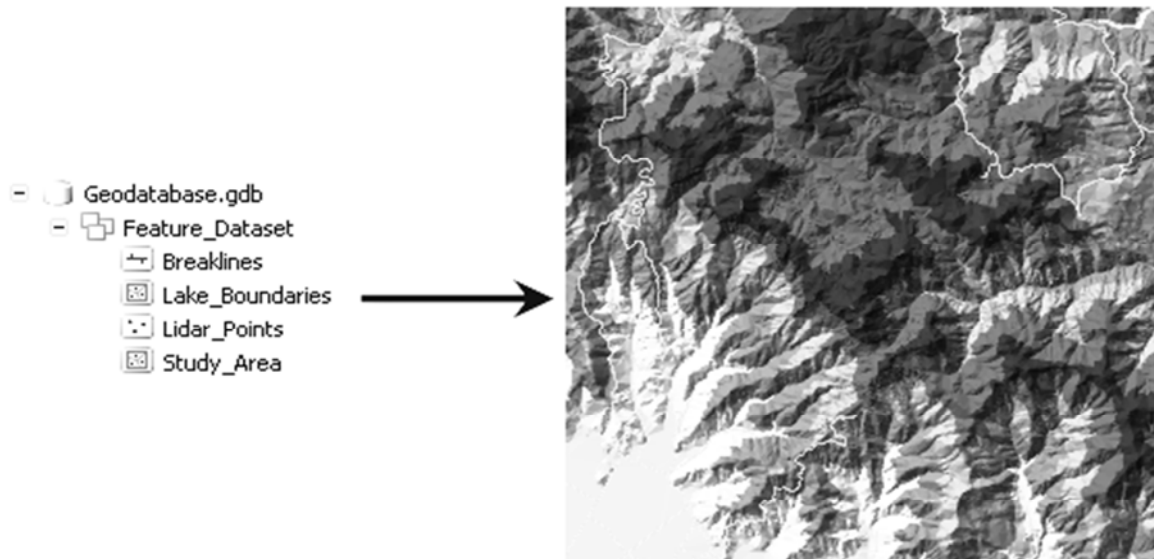


Рисунок 3 - Приклад візуалізації TIN за допомогою модуля Terrain в середовищі ArcGIS 10.2 [17]

В документації ESRI вказано, що для персональної бази геоданих Terrain обмежена близько 20 мільйонами точок або менше, файлові бази геопросторових даних обмежують сотнями мільйонів точок, а база геоданих ArcSDE не обмежує обсягів даних, але потрібно враховувати можливості конкретної СКБД і технічних засобів зберігання даних, що використовуються [18].

Висновки та перспективи подальших досліджень

З появою нових методів збирання геопросторових даних, таких як лідарне знімання з'явилася необхідність порівняння моделі отриманої в результаті цього знімання зі структурною моделлю, оскільки даними лідарного знімання є набори даних, що містять хмари точок, якими можна керувати, відображати, аналізувати і спільно використовувати за допомогою програмного забезпечення ArcGIS. Тобто змінюється підхід

порівняння: від порівняння існуючих моделей ЦМР між собою до порівняння цих моделей з моделлю ЦМР, отриманою в результаті лідарного знімання, з відповідним корегуванням її структурними лініями, оскільки ця технологія стрімко розвивається і поступово стає одним з основних джерел збирання геопросторових даних, які використовуються в ГІС. Крім того, таку значну кількість даних (мільйони точок), які отримуються новими методами збирання, зручно зберігати в об'єктно-реляційній структурі та використовувати для процесу цифрового моделювання рельєфу (включає в себе операції зі створення, опрацювання, зберігання та використання ЦМР) в об'єктно-реляційній базі топографічних даних для забезпечення повного, точного, коректного, оперативного та актуального подання рельєфу. Інформацію про нього використовують в тому числі у процесі ведення топографічного моніторингу місцевості.

Список літератури

1. *Пространственное моделирование средствами ГИС для морфотектонического анализа [Электронный ресурс] / Е.А. Вишнева, А.В. Елобогоев, Е.М. Высоцкий, Н.Н. Добрецов. – Электрон. текст. и граф. данные // Из материалов международной конференции "Интеркарто-6" – Новосибирск: Объединённый институт геологии, геофизики и минералогии Сибирского отделения РАН, 2000. – Режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2004/ggeo/solovjov/library/lib8.htm>, свободный.*
2. *Гуров В.Н. О моделировании топографической поверхности сплайн-функциями / В.Н. Гуров, В.В. Зиборов // Инженерная геодезия – 1988. – № 31. – С. 17-20.*
3. *ДСТУ ISO 19101:2002(Е) "Географічна інформація – еталонна модель".*
4. *Карпінський Ю.О. Еталонна модель бази топографічних даних / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко., Р.В. Рунець // Вісник геодезії та картографії. – 2010. – №2. – С 28-36.*
5. *Карпінський Ю.О. Орографічна-триангуляційна цифрова модель рельєфу / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко // Вісник геодезії та картографії. – 2000. – №3(18). – С 28-32.*

6. Сербенюк С.Н. Методы моделирования геополей по данным в нерегулярно расположенных точках / С.Н. Сербенюк, С.М. Кошель, О.Р. Мусин // Геодезия и картография. – 1990. – № 11. – С. 31-35.
7. СОУ 742-33739540 0010:2010 "Комплекс стандартів База топографічних даних. Загальні вимоги".
8. СОУ 742-33739540 0013:2010 "Комплекс стандартів База топографічних даних Правила цифрового опису рельєфу")
9. Уфимцев Г.Ф. Морфология рельефа / Г.Ф. Уфимцев, Д.А. Тимофеев // Москва: Научный мир. 2004.
10. Фукс А.Л. Разработка и исследование алгоритмов интерполяции однозначных поверхностей и их использование при построении цифровых моделей рельефа: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.13.18. – Томск, 2001. – 19 с.
11. Хромых В.В. Цифровые модели рельефа / Хромых В.В., Хромых О.В. // Учебное пособие. Томск: ТМЛ-Пресс. – 2007.
12. Цюцюра С.В. Методи проєкцій об'єктних моделей на структури даних [Текст] / С.В. Цюцюра, Є.В. Бородавка // Управління розвитком складних систем. – 2014. - № 20. – С. 92 - 98.
13. Philip G.M. A precise Method for Determining Contoured Surfaces / G.M. Philip, D.F. Watson // Australian Petroleum Exploration Association Journal. – 1982. – No. 22. – P. 205-212.
14. Watson D.F. A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation / D.F. Watson, G.M. Philip // Geo-Processing. – 1985. – No. 2. – P. 315-327.
15. Eckstrein Barbara Ann. Evaluation of spline and weighted average interpolation algorithms // Comput. and beasci. – 1989. – Vol. 15, No. 1. – С. 79-94.
16. Franke R. Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines // Comp. & Maths. with Appls. – 1982. – Vol. 8. No. 4. – P. 237-281.
17. Mitas L. General Variational Approach to the Interpolation Problem / L. Mitas, H. Mitasova // Comp. & Maths. with Appls. – 1988. – Vol. 16. No. 12. – P. 983-992.
18. <http://resources.arcgis.com>.

Стаття надійшла до редколегії 15.04.2016 р.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.П. Войтенко, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Лазоренко-Гевель Надежда Юрьевна

Кандидат технических наук, ассистент кафедры геоинформатики и фотограмметрии, orcid.org/0000-0002-1572-4947
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Денисюк Богдан Иванович

Старший преподаватель кафедры геоинформатики и фотограмметрии, orcid.org/0000-0003-1692-8551
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА В ОБЪЕКТНО-РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗАХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Аннотация. Интенсивные изменения рельефа земной поверхности под влиянием природных и антропогенных факторов поставили задачу быстрого корректирования этих изменений в ранее построенных цифровых моделях рельефа с наименьшими финансовыми и временными затратами. Рассмотрены существующие модели и методы построения ЦМР с целью сравнения и определения оптимальности их использования в объектно-реляционных базах топографических данных. Появление новых методов сбора геопространственных данных вызвало изменение подхода сравнения существующих цифровых моделей рельефа между собой к сравнению этих моделей с моделью ЦМР, полученной в результате лидарной съемки с соответствующей корректировкой ее структурными линиями. В связи с этим предлагается выполнять сравнение основных моделей ЦМР с моделью, полученной с помощью лидарной съемки, и применять модуль Terrain для хранения больших объемов геопространственных данных и их быстрой визуализации.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа; интерполяционные методы; TIN-модель; лидарная съемка; GRID-модель

Lazorenko-Hevel Nadiia Iuirivna

PhD, assistant of professor, Department of Geoinformatics and photogrammetry, orcid.org/0000-0002-1572-4947
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Denisyuk, Bogdan Ivanovich

Lecturer, Department of Geoinformatics and photogrammetry, orcid.org/0000-0003-1692-8551
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**METHODS AND MODELS ANALYSIS OF DIGITAL ELEVATION MODELING
IN OBJECT-RELATIONAL TOPOGRAPHIC DATABASES**

Abstract. Intensive changes in the earth's surface relief under the influence of natural and anthropogenic factors have set the task of rapid correction of these changes in the previously constructed digital elevation model with the least financial and time costs. The article discusses the existing models and methods of DEM in order to compare and determine the optimal use in object-relational databases of topographic data. The development of new geospatial methods of data collection has caused a change of approach comparing the existing digital terrain models with each other to compare these models with the DEM model that has obtained using LIDAR with a corresponding adjustment to its structural lines. The authors propose to carry out a comparison between basic models DEM and model that has obtained using LIDAR and use an application module Terrain to store large volumes of geospatial data for its rapid imaging.

Keywords: digital elevation models; interpolation methods; TIN; Lidar survey; GRID

References

1. Modeling GIS spatial funds for morphotectonic analysis [Electronic resource] / E. A. Vyshnevskaya, A.V. Elobohoev, E.M. Visotskiy, N.N. Dobretsov. - Elektron. text. and graph. // Data IZ materials international conference "Ynterkarto-6" - Novosibirsk: United Institute of geology, geophysics and mineralogy RAS Siberian department, 2000. - Access: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2004/ggeo/solovjov/library/lib8.htm>, svobodny.
2. Gurov V.H. (1988). About modeling topographic surface spline function / V.H. Gurov, V. Zyborov // Engineering geodesy: 31, 17-20.
3. GSTU ISO 19101: 2002 (E) "Geographic information - reference model".
4. Karpinski, I.O. (2010). A reference model base topographic data / I. O. Karpinski, A.A. Liaschenko, R.V. Runets // Visnik of Geodesy and Cartography: 2, 28-36.
5. Karpinski, I.O. (2000). Orographic-triangulation digital terrain model / I. O. Karpinski, A.A. Liaschenko // Visnik of Geodesy and Cartography: 3(18), 28-32.
6. Serbenyuk, S.N. (1990). Methods for modeling heofield using irregular points data / S.N. Serbenyuk, S.M. Koshel, O.P. Musin // Geodesy and Cartography: 1, 31-35.
7. SOU 742-33739540 SOU 0010: 2010 "Complex of standards topographic data base. General requirements."742-33739540.
8. SOU 0013: 2010 "Standards Base Complex Rules digital topographic data describing terrain".
9. Ufimtsev, G.F. (2004). Morphology of relief / G.F. Ufimtsev, D.A Timofeev // Moscow: Science world.
10. Fuchs, A.L. (2001). Development and Investigation algorithms of interpolation definitive surfaces and using of it for creation of digital elevation model: Abstract to degree candidate dissertation. PhD: 05.13.18. Tomsk, 19.
11. Chromih, V.V. (2007). Digital elevation models / V.V. Chromih, O.V. Chromih // Tutorial. Tomsk: TML-Press.
12. Tsiutsiura, S. & Borodavka, Ye. (2015). Methods of Object Models Mapping into Data Structure. Management of Development of Complex Systems, Issue 21, 92 – 98 [in Ukrainian].
13. Philip, G.M. (1982). A precise Method for Determining Contoured Surfaces / G.M. Philip, D.F. Watson // Australian Petroleum Exploration Association Journal: 22, 205-212.
14. Watson, D.F. (1985). A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation / D.F. Watson, G.M. Philip // Geo-Processing: 2, 315-327.
15. Eckstrein, Barbara Ann. (1989). Evaluation of spline and weighted average interpolation algorithms // Comput. and beasci: 15(1), 79-94.
16. Franke, R. (1982). Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines // Comp. & Maths. with Appls: 8, 4, 237-281.
17. Mitas, L. (1988). General Variational Approach to the Interpolation Problem / Mitas L., Mitasova H. // Comp. & Maths. with Appls: 16(12), 983-992.
18. <http://resources.arcgis.com>.

Посилання на публікацію

- APA Lazorenko-Hevel, N.I., Denisyuk, B.I. (2016). Methods and models analysis of digital elevation modeling in object-relation topographic databases, 26, 178 – 186 [in Ukrainian].
- ГОСТ Лазоренко-Гевель Н.Ю. Аналіз методів і моделей цифрового моделювання рельєфу в об'єктно-реляційних базах топографічних даних [Текст] / Н.Ю. Лазоренко-Гевель, Б.І. Денисюк // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 26. – С. 178 – 186.