

8. Капустин В.В., Денисов Р.Р., Мойшнен Л.О. Применение георадарного метода в квазигоднородных средах. «ЭМЗ-2011»: 5-я Всероссийская школа-семинар им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по электромагнитным зондированиям земли «ЭМЗ-2011». 2011. Т. 2. С. 343–346.

9. Владов М.Л. Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. М. : МГУ. 2004. 153 с.

## **ПОБУДОВА ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ DIGITALS**

Коряковський Я.Ю.,

Онишко І.В.

(науковий керівник д.т. н., проф. Батракова А.Г.)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Цифрові моделі рельєфу (ЦМР) – це особливий вид тривимірних математичних моделей, що являє собою відображення «рельєфу» як реальних, так і абстрактних географічних полів (поверхонь) [1]. Цифрова модель рельєфу – це математичний опис ділянки земної поверхні, що отриманий шляхом обробки матеріалів топографічної зйомки. Така модель дозволяє прорахувати об'єкт із застосуванням математичних методів інтерполяції, апроксимації або екстраполяції даних [1].

Перші експерименти щодо створення цифрових моделей місцевості відносяться до самих ранніх етапів розвитку геоінформатики та автоматизованої картографії першої половини 1960-х років [2]. Згодом були розроблені методи і алгоритми вирішення різних завдань, створені потужні програмні засоби моделювання, великі національні і глобальні масиви даних про рельєф, накопичений досвід рішення з їх допомогою різноманітних

наукових і прикладних задач. Одним з лідерів у сфері створення і використання ЦМР є США (Національна ЦМР США у форматі DEM). Ще одним прикладом національної ЦМР може служити ЦМР Данії. Перша ЦМР Данії була створена у 1985 році для вирішення завдання оптимального розміщення трансляторів мережі мобільного зв'язку [2]. ЦМР створюється на базі математичного апарату з використанням комп'ютерної техніки та інформації ГІС. Розрізняють такі види цифрових моделей рельєфу [3]: регулярні; нерегулярні; структурні.

Для регулярних моделей рельєфу характерно розташування точок з відомими просторовими координатами у вузлах сітки квадратів, прямокутників, рівносторонніх трикутників або інших правильних фігур, або особливі ЦМР з системою поперечних профілів, проведених через певні відстані вздовж заданої лінії (осі траси). Для створення ЦМР використовуються [2]:

- картографічні матеріали, до яких відносяться: топографічні та загальногеографічні карти, кадастрові плани тощо;
- дані дистанційного зондування (ДДЗ), до яких відносяться: матеріали, що одержані з космічних носіїв, аерозйомки і наземні зйомки, інші неконтактні методи;
- результати польових геодезичних вимірювань, що виконуються нівелірами, теодолітами, електронними тахеометрами, GPS приймачами, а також результати обстеження територій із застосуванням геоботанічних та інших методів;
- статистичні данні, до яких відносяться: гідрологічні та метеорологічні данні, відомості про забруднення навколишнього середовища тощо;
- літературні данні: тексти, описи, звіти;
- інші данні: фото, ілюстрації, замальовки.

Незалежно від методу побудови оптимальним способом зберігання ЦМР є пошарове зберігання. У цьому

випадку можливе зберігання набагато більшої кількості інформації, яка буде відображатися і деталізуватися залежно від обраного шару. Тому широко застосовується пошарова організація ЦМР для поділу різної інформації.

У програмному комплексі DIGITALS ЦМР може бути побудована [4]:

- у вигляді регулярних сіток – тип шару «Сітка ЦМР»;
- у вигляді триангуляційної нерегулярної сітки – шари типу «Триангуляційна сітка (TIN)»;
- у вигляді об'єктів карти, що мають коректні з точки зору опису рельєфу висоти: горизонталей, пікетів, укосів, що розміщуються у шарах типу «Пікет», «Одиночний символ», «Полігон / Полілінія».

Модель рельєфу із застосуванням опції «Сітка ЦМР» або «TIN» може бути застосована для тривимірної візуалізації, використовується як проміжний етап при створенні ортофотопланів або побудові горизонталей. Триангуляційна сітка (TIN) використовується при складанні планів великих масштабів. Такий спосіб обирається за наявності даних тахеометричної зйомки, якщо усі характерні точки рельєфу зняті у полі [5]. Перевагою даного способу є відповідність побудованих горизонталей вихідним пікетам.

Опція «Сітка ЦМР» найчастіше використовується для дрібномасштабних карт. Даний тип моделі рельєфу будують за даними аерофотозйомки, з використанням вимірювань у режимі стерео або при напівавтоматичному створенні (відновленні рельєфу).

У програмі DIGITALS передбачено можливість перегляду поверхні у тривимірному вигляді. Можливість відображення карти у тривимірному вигляді є зручним засобом візуального контролю правильності збору. На об'єкт типу «Сітка ЦМР» можна накласти текстуру, тобто фотографічне зображення поверхні. Для цього слід позначити об'єкт сітки, виконати команду контекстного

меню «Завантажити текстуру для ЦМР» і вказати у діалозі файл орієнтованого растра (або ортофотоплан).

Об'єкти типу «Триангуляційна сітка (TIN)» відображаються у вигляді сітки трикутників. Залежно від режиму перегляду трикутники можуть відображатися зафарбованими. Параметри віртуальної камери, з якої здійснюється перегляд, можна налаштувати з контекстного меню робочого вікна карти. Масштаб відображення по висоті можна поміняти з контекстного меню, для чого слід обрати команду «Встановити масштаб по Z». Для кращого відображення, можна встановити відповідний коефіцієнт масштабу.

Для побудови ЦМР проведені топографо-геодезичні вишукування методом GNSS-спостереження на місцевості. Спостереження виконувались в режимі реального часу (RTK) з використанням референтних GNSS-станцій мережі System.NET. Перелік станцій розміщений за інтернет-адресою [6]. Дана мережа постійно діючих референтних GNSS-станцій компанії System Solution, сертифікована в установленому порядку. Кожен GNSS-приймач розміщений на базових станціях мережі, сертифікований в установленому порядку і має метрологічний атестат. Після передачі вимірних даних на персональний комп'ютер була виконана камеральна обробка. Обчислення планового геодезичного обґрунтування та складання схем та планів виконано за допомогою ліцензійної програми DIGITALS.

За вихідними даними побудовано цифрову модель рельєфу по поперечниках до осі траси (рис. 1), TIN модель рельєфу, TIN модель рельєфу з горизонталями та тривимірне зображення нерегулярної цифрової моделі рельєфу. За аналогічними вихідними даними побудовано цифрову модель по поперечниках до осі траси, GRID модель рельєфу з кроком сітки 5 м та з кроком сітки 10 м. На базі цифрової моделі рельєфу з кроком сітки 10 м побудовано GRID модель рельєфу з горизонталями.

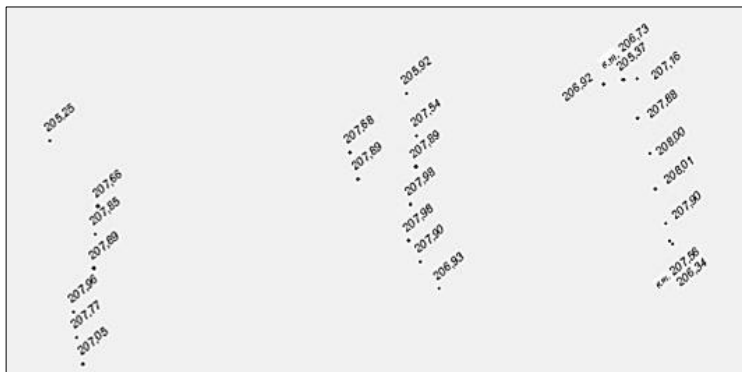


Рисунок 1 – Цифрова модель по поперечниках до осі траси

Оскільки розчленованість рельєфу по трасі становить 30 м/км, то доцільно прийняти крок сітки у поперечному напрямку 10 м, у поздовжньому напрямку 30 м. Для забезпечення регулярності сітки з кроком 10 м висотні позначки додаткових точок рельєфу у поздовжньому напрямку визначалися методом лінійної інтерполяції. Під час створення регулярної сітки (GRID) ЦМР слід враховувати крок сітки, величина якого визначає її просторову роздільну здатність. Чим менший обраний крок, тим точніше ЦМР, тобто вище просторова роздільна здатність моделі, але тим більше кількість вузлів сітки, отже, більше машинних ресурсів потрібно на розрахунок ЦМР. Так, при зменшенні кроку сітки у два рази (з 10 м до 5 м) обсяг комп'ютерної пам'яті, необхідної для зберігання моделі, зростає у чотири рази. Це підтверджується результатами проведених обчислень.

До переваг регулярної цифрової моделі GRID слід віднести простоту і швидкість її комп'ютерної обробки, що пов'язано з растровою природою моделі. Модель GRID дозволяє «згладити» поверхню, що моделюється, уникнувши тим самим різких перепадів висот. Тому

модель GRID підходить для відображення рельєфу, характеристики якого плавно змінюються у просторі – рельєфу рівнинних територій з розчленованістю рельєфу до 30 м/км. Під час побудови цифрової моделі TIN через нерегулярну сітку трикутників більш ефективно використовуються ресурси оперативної пам'яті комп'ютера для зберігання моделі. Модель TIN підходить для відображення горбистого та гірського рельєфів, характеристики якого змінюються у просторі з великим градієнтом, а рельєф характеризується розчленованістю понад 30 м/км.

### Література

1. Пуркин В.И. Основы автоматизированного проектирования автомобильных дорог (на базе программного комплекса CREDO) : учебное пособие для вузов. Москва : СП «Кредо-диалог», 2007. 216 с.

2. Хромых В.В., Хромых О.В. Цифровые модели рельефа : учебное пособие. Томск : ТМЛ-Пресс, 2007. 178 с.

3. ВСН 5-81 Инструкция по разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений [Чинний від 1981-10-08]. Москва, 1981. 160 с. (Інформація та документація).

4. Федоров Д.П. Digitals. Использование в геодезии, картографии и землеустройстве. Винница : ООО «Аналитика», 2015. 354 с.

5. Виноградский А.К. Дорожное районирование. Москва : Транспорт, 1989. 95 с.

6. System.NET. URL : <http://www.gnss.org.ua/SBC/User/SiteMapPublic>. (дата звернення : 01.11.2020).