

- Warszawa, 9-12 lutego 1939 r. 8. Polska wieś w Unii Europejskiej, 2006: Urząd Komitetu Integracji Europejskiej, Warszawa 2006. 9. Przegon W., 2008: Polska wieś a wspólna polityka rolna w UE, [w:] Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN O/Kraków, s. 31-41. 10. Przegon W., 1997: Pozyskiwanie terenów pod autostrady w Bawarii, [w:] Aura, nr 5/97, s. 6-8. 11. Przegon W., 2005: Scalenia gruntów elementem wielofunkcyjnego i zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich na przykładzie powiatu zamojskiego, [w:] Materiały konferencji naukowej nt.: „Nowe tendencje w teorii i praktyce zarządzania obszarów wiejskich”. Wydawnictwo UW-M w Olsztynie, s. 147-159. 12. Sobolewska-Mikulska K., 2005: Prace scaleniowe w Polsce po akcesji do Unii Europejskiej, [w:] Przegląd Geodezyjny, nr 1, s. 10-13. 13. Sobolewska-Mikulska K., 2004: Propozycja zasad oceny oddziaływania projektu scaleniowego na środowisko, [w:] Przegląd Geodezyjny, nr 10, s. 3-8. 14. Szczepaniak H., 2007: Korelacja między studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, a planem urządzeniowo-rolnym gminy, [w:] <http://www.biurogeodezji.internetdsl.pl/zalaczniki/korelacja.doc>
15. Ustawa z dnia 26 marca 1982 r. o scaleniu i wymianie gruntów, DzU Nr 178, poz. 1749. 16. Więckowicz Z., 1980: Urządzenia rolne a planowanie przestrzenne obszarów wiejskich, [w:] Przegląd Geodezyjny, nr 9-10, s. 340-342. 17. Wilkin J., 2007: Wielofunkcyjność rolnictwa i obszarów wiejskich, [w:] Wyzwania przed obszarami wiejskimi i rolnictwem w perspektywie 2014-2020, Nowe Życie Gospodarcze, nr 21. 18. Woch F., 2006: Perspektywy zmian strukturalnych na obszarach wiejskich, [w:] Kompleksowe scalanie gruntów rolnych i leśnych oraz jego wpływ na środowisko (materiały szkoleniowe nr 93), Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, Puławy 2006, s. 5-22.

УДК 528.92

X. Бурштинська, А. Бабушка, І. Василюха, С. Пікулик  
Національний університет “Львівська політехніка”

## ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ ГІДРОГРАФІЧНИХ МЕРЕЖ ГІРСЬКИХ СИСТЕМ

© Бурштинська X., Бабушка А., Василюха І., Пікулик С., 2009

*Рассмотрена методика построения цифровой модели рельефа по оптимизированным исходным данным, полученным из лазерного сканирования местности. Для отображения объектов гидрографии горных систем использованы растры геоповерхностей относительно освещенности склонов и контрольных горизонталей, построенных по ЦМР.*

*The method of digital model relief construction based on optimizing initial data that received from laser scanning of terrain is presented in the article. For depicting the hydrographical objects of mountainous system there were used the raster surface of reflectance hill shading and control contour lines created by DEM.*

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** Повітряне лазерне сканування – прогресивний напрям у розвитку інженерних досліджень.

Результатом роботи лазерного повітряного сканера є великий масив даних, що дозволяє отримати на його основі різну вихідну продукцію. Основним напрямом застосування повітряного лазерного сканування є створення великомасштабних карт і планів. В сучасних технологіях, пов'язаних з моделюванням забудованих територій, інвентаризацією доріг, ліній електропередач, дослідженням гідрографічних об'єктів широко використовують лазерне сканування місцевості [2, 3, 6, 8].

Роботу з отриманими даними можна розбити на декілька традиційних задач, таких як створення ортофотопланів, дешифрування тощо. Ці завдання носять традиційний характер, але на сьогодні значний інтерес представляє побудова оптимізованої цифрової моделі рельєфу за даними повітряного лазерного сканування.

Існує два загальноприйнятих методи представлення цифрової моделі – у вигляді нерегулярної сітки – триангуляції (TIN-поверхні) і регулярної сітки (GRID-поверхні). Якщо перший варіант дозволяє точніше описати будь-який елемент поверхні, то другий застосовують для обробки отриманої поверхні різними методами [5].

Для отримання даних, необхідних для побудови ЦМР необхідно провести процедуру класифікації (classification), – вибору з хмари ТЛВ (точок лазерного віддзеркалення) точок, відбитих від земної поверхні [4, 7].

Один з прикладів побудови ЦМР на основі ТЛВ – триангуляція Делоне за всіма точками, виділеними в процесі класифікації в клас "земля". Побудована таким чином модель часто непридатна до подальшого використання, основними причинами чого є:

1. Наявність надлишкової інформації. Пов'язано це з тим, що сучасні лазерні сканери дозволяють отримати дуже високу щільність точок, і така детальність зазвичай буває зайвою. Горизонталі, побудовані по поверхні у форматі TIN без якої-небудь обробки не відтворюють адекватно моделі.

2. Похибки класифікації. Найуживаніші алгоритми класифікації засновані на застосуванні ряду методів, які можна охарактеризувати, як геометричні. Використовуючи їх, в клас «земля» можуть потрапити точки, відбиті від низької рослинності, які складно навіть візуально відрізнити від точок землі під час аналізу інформації з ортофотопланом і позовжними профілями, побудованими за ТЛВ.

3. Похибки лазерного сканування. Питання про точність лазерного сканування досить широке, оскільки на нього впливає значна кількість чинників: динамічний характер знімання (сканування здійснюється з повітряного засобу пересування), похибки визначених геодезичних координат точок, похибки перерахунку в різні системи координат і висот тощо.

Для створення ЦМР, придатної до використання для побудови на її основі горизонталей, в САПР проектувальниками у разі потреби слід застосовувати алгоритми оптимізації та усунення шумів. При цьому необхідно дотримуватись вимог керівних документів, які допускають коректування отриманих даних в достатньо вузькому діапазоні, зокрема для великомасштабної картографічної продукції.

Існує багато алгоритмів, які дозволяють оптимізувати поверхню і відфільтрувати шумові і помилкові точки, кожному з яких властиві свої плюси і мінуси.

**Постановка завдання.** Метою даного дослідження є розгляд технології, призначеної для отримання оптимальної інформації про рельєф земної поверхні, а також її апробація для побудови цифрових моделей рельєфу розгалужених гідрографічних мереж гірських систем.

**Виклад основного матеріалу.** Матеріалами для опрацювання слугували дані лазерного сканування знімальною системою ALTM 3100 канадської фірми Ortech [1].

Програмне забезпечення для опрацювання даних лазерного сканування містить:

- програмне забезпечення для первинної обробки (Applanix, Pospac, Realm);
- програмне забезпечення для моделювання і створення топопланів (Microstation (Terra), Civil 3d, ПО "Топографія").

Алгоритм оптимізації побудови ЦМР застосовано для гідрографічної мережі гірських систем.

Розглянемо технологічні особливості побудови ЦМР за оптимізованими даними лазерного сканування місцевості.

Пропонована технологія використовує як основу для побудови оптимізованої ЦМР GRID-поверхні з розміром околу, що дозволяє відобразити всі необхідні форми рельєфу, особливо на ділянках з великим нахилом схилів [5]. Ці ділянки відрізняються тим, що плановий зсув якої-небудь точки поверхні веде до значного відхилення позначок. Технологію засновано на використанні допоміжних матеріалів, похідних від початкової поверхні, прикладами можуть слугувати спеціальні моделі, що описують зміну поверхні за заданою ознакою (для визначення водостоків, хребтів, крутих схилів і ін.). Матеріали, отримані на основі початкової необробленої поверхні, завжди

вимагають додаткової обробки, оскільки відображають всі найдрібніші зміни на ній, а також шумові явища. Для цього зазвичай застосовуються суміщені алгоритми апроксимації і видалення випадкових відхилень в околі, де околі є деякою областю, в межах якої укладаються точки, найбільш наближені до біжучої точки, вибраної під час обробки. Розмір околу вибирається залежно від рельєфу і щільності початкових ТЛВ, віднесених до класу "земля".

Апроксимація і фільтрація випадкових відхилень проводяться за принципом матричної обробки значення регулярної сітки в сукупності з навколишніми точками, які не приведуть до появи випадкових стрибків значень. В результаті зменшується ступінь впливу окремо локалізованих областей.

Технологію оптимізації початкової поверхні на основі допоміжних матеріалів подано на рис. 1.

Поверхні, оптимізовані для віддзеркалення різних ділянок, є деякою множиною  $G = \{g_1, g_2, g_i, \dots, g_n\}$ . Комплекс допоміжних матеріалів характеризує множина  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ . На основі допоміжних матеріалів сформовано безліч умов  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ . Зрозуміло, що в результаті перевірки комплексу умов за значенням відповідних матеріалів можливе отримання ряду результатів, які вказують на те, яке значення потрібно привласнити результативній поверхні в даній ділянці.

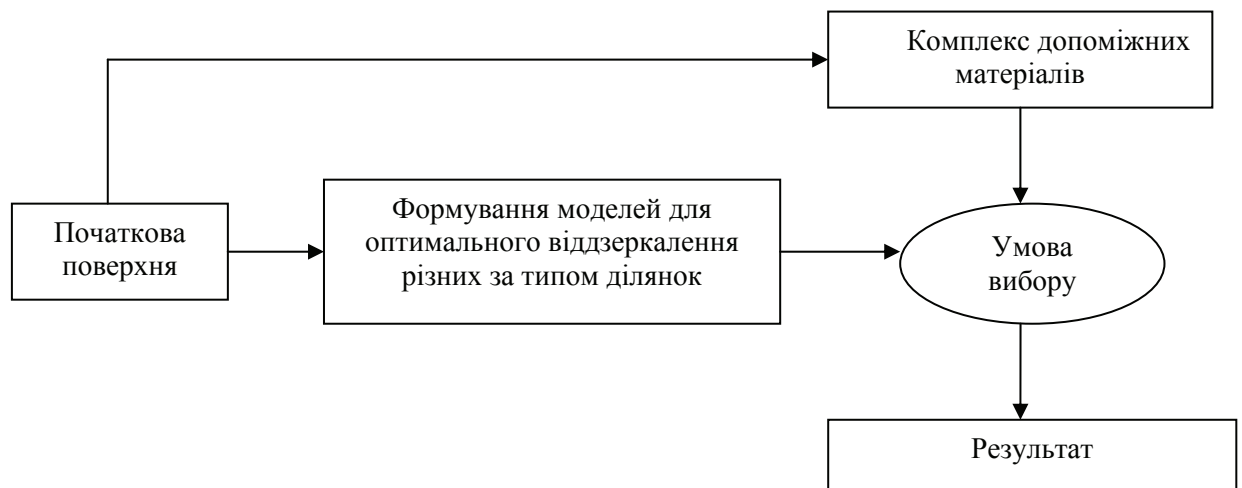


Рис. 1. Технологія створення ЦМР

Сформуємо на основі багатьох допоміжних матеріалів  $S$  і умов  $C$  єдиний простір значень, деяку допоміжну поверхню  $\zeta(x, y)$ , причому кожній точці початкової поверхні відповідає тільки одне значення  $\zeta(x, y)$ . Формування цього простору ведеться так, щоб кожній моделі з множини відповідали деякий ряд значень  $[\zeta_{\min i}, \zeta_{\max i}]$ ,  $i=1 \dots n$ , причому  $\zeta_{\max i-1} \neq \zeta_{\min i}$ ,  $\zeta_{\max i} \neq \zeta_{\min i+1}$ . Проміжок значень між  $(\zeta_{\max i}, \zeta_{\min i+1})$  – ділянка інтерполяції, в межах якої значення результативної поверхні обчислюватиметься за таким принципом для кожної точки:

$$Z(x, y) = g_i \frac{\zeta - \zeta_{\max i}}{\zeta_{\min i+1} - \zeta_{\max i}} + \frac{\zeta_{\min i+1} - \zeta}{\zeta_{\min i+1} - \zeta_{\max i}} g_{i+1}$$

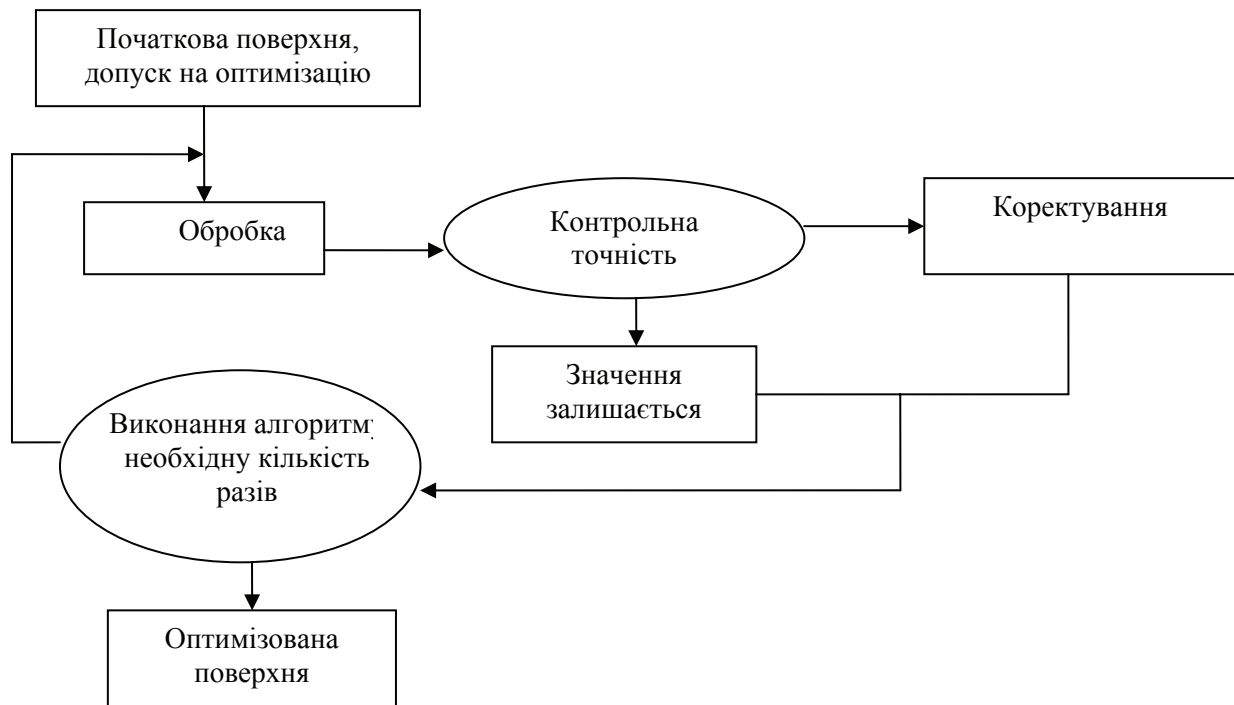


Рис. 2. Алгоритм оптимізації

Процедура побудови моделей з різним ступенем оптимізації дає комплекс алгоритмів матричної обробки (схему застосування показано на рис. 2). Ця процедура є ітераційним процесом і виконується залежно від вимог до ступеня оптимізації поверхні.

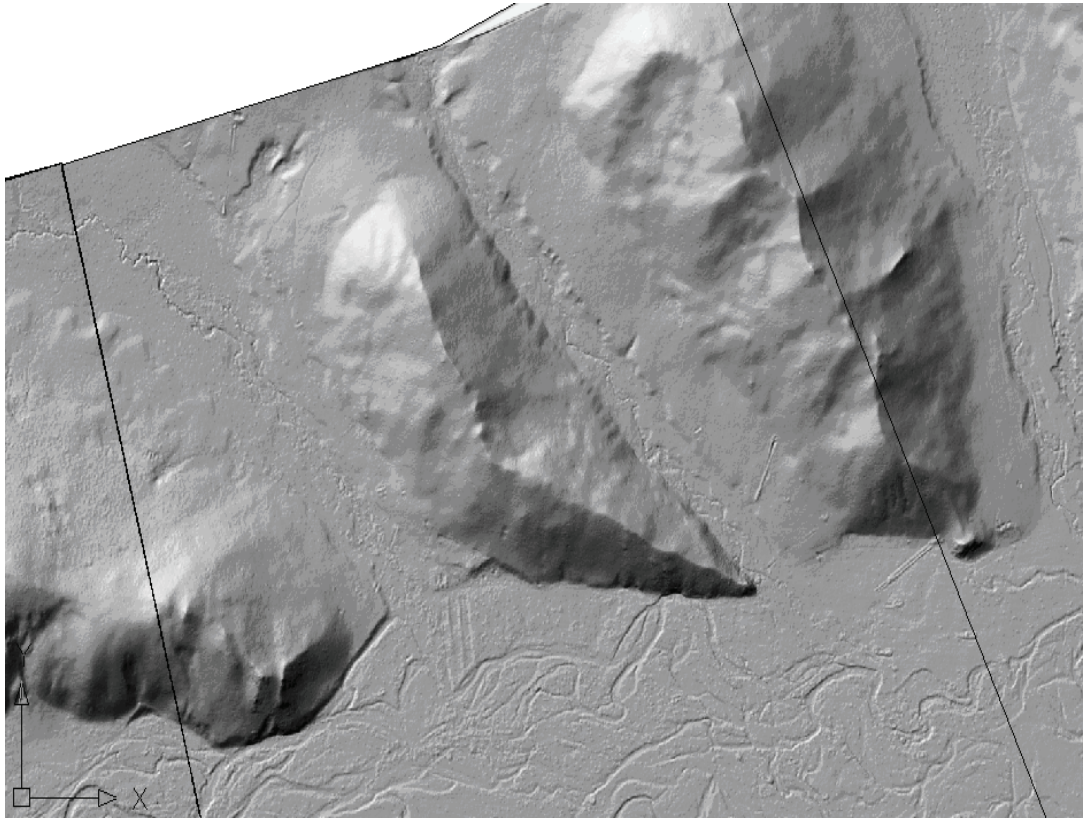
Застосування ітераційного підходу дозволяє використовувати комплекс алгоритмів з поправкою на кожному кроці для того, щоб не привести до виходу за рамки заздалегідь заданого допуску. З одного боку, це сприяє контролю точності, з іншого – подальше повернення на етап оптимізації з внесеною поправкою приведе до коректування значень околу в потрібному напрямку, що допоможе уникнути різких стрибків на результативній поверхні. Описаний алгоритм легко адаптувати до будь-яких вимог за рахунок додавання допоміжних матеріалів та умов.

Виділення класу землі в автоматичному режимі здійснюється за допомогою інструменту *maskos* в *TerraScan*, в якому містяться параметри класифікації ТЛВ.

Після класифікації проводять оцінку класів ТЛВ і, якщо необхідно, рекласифікацію в окремих ділянках. Слід звернути увагу на класифікацію будов і окремих дерев; вони не повинні потрапляти в клас землі. Вали, береги річок, навпаки, повинні бути віднесені до класу землі.

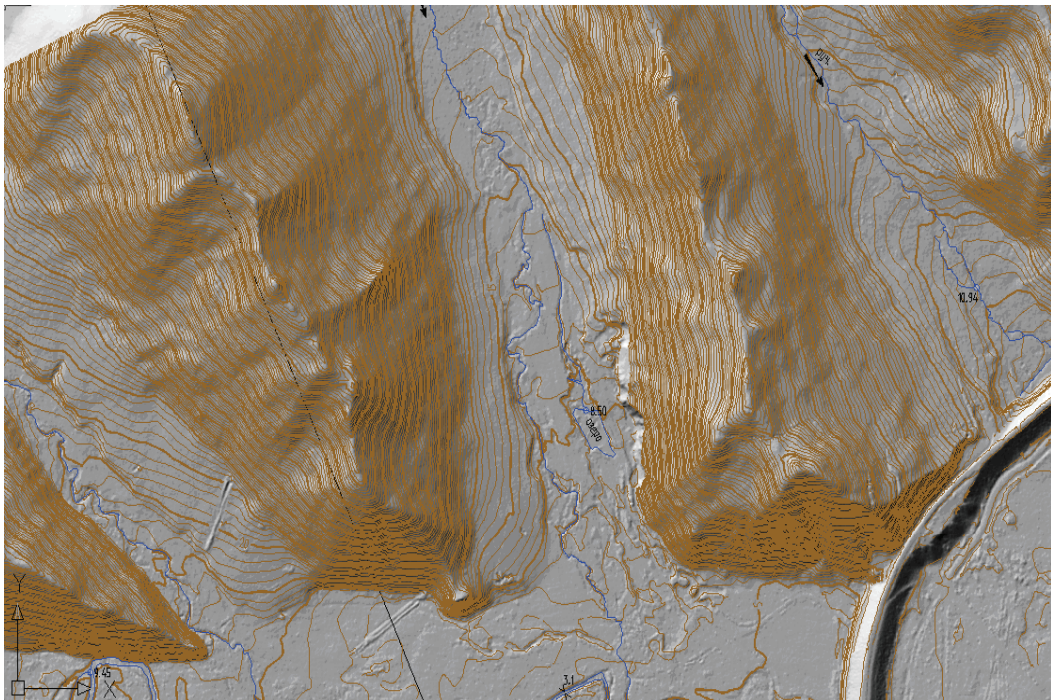
За класифікованими ТЛВ побудовано растрове зображення. На кожний номенклатурний лист створено растрові моделі земної поверхні (геоповерхні): растр різниці класів ("висока рослинність" і "земля"), растр інтенсивності, геоповерхню *Hillshade* (відносної освітленості схилів), растр контрольних горизонталей. Розмір пікселя на місцевості приймають залежно від масштабу.

Як приклад, подамо результати побудови ЦМР для фрагменту у вигляді растра (рис. 3) тіньового рельєфу (*Hillshade*).



*Рис. 3. Растр Hillshade*

На растрі Hillshade чітко видно гірські системи гідрографії, за якими можна будувати гідрографічні об'єкти, включивши горизонталі і прив'язку. Накладання горизонталей, побудованих за TIN-моделлю, дозволяє відслідковувати гідрографічну мережу складного розгалуженого характеру (рис. 4).



*Рис. 4. Растр Hillshade з контрольними горизонталями і гідрографічною мережею*

Фрагмент карти 3D-моделі, отриманий за результатами обробки даних лазерного сканування подано на рис. 5.

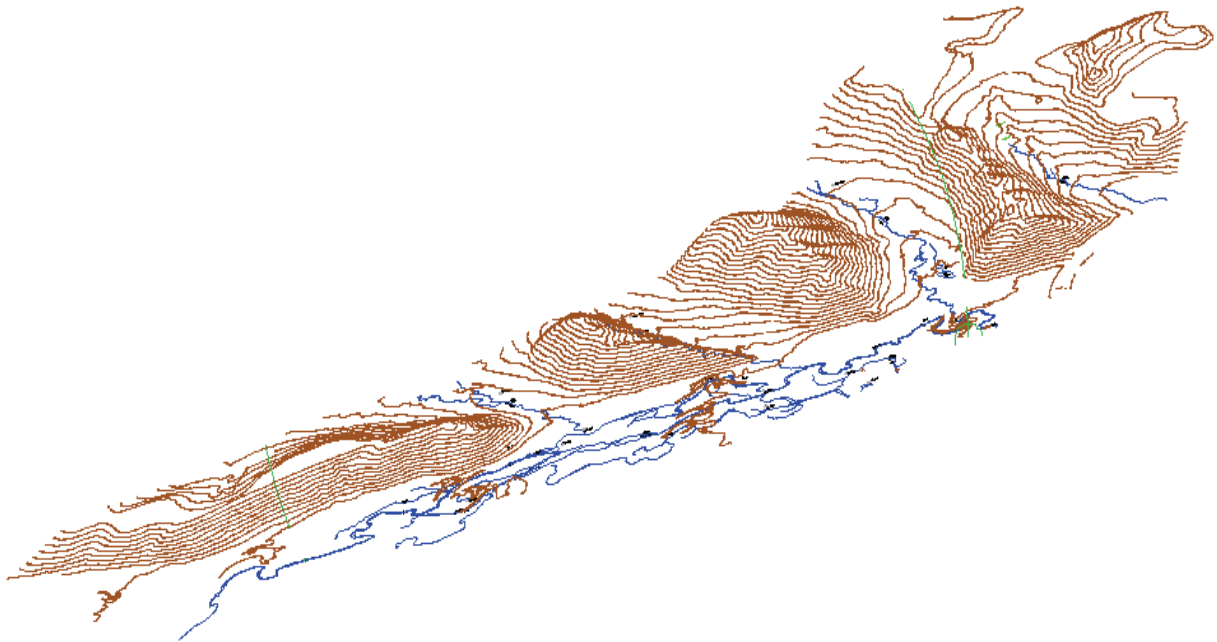


Рис. 5. Фрагмент карти в 3D моделі

Таким чином, резюмуючи результати досліджень, необхідно відзначити, що для ефективного розв'язання задач гідрографії необхідно, залежно від типу об'єктів, використовувати різні матеріали як отримані безпосередньо із лазерного сканування, так і з результатів обробки вихідної інформації.

#### **Висновки**

1. При створенні цифрової моделі рельєфу методом лазерного сканування важливим є узгодження з нею елементів гідрографії. Особливою складністю відзначаються розгалужені гідрографічні мережі гірських систем.
2. Для отримання достовірних результатів моделювання слід використовувати алгоритми оптимізацій вхідної інформації, які дають можливість усунути випадкові відхилення в околі модельованої точки.
3. Для відтворення гідрографічних об'єктів доцільно використовувати різні геоповерхні, зокрема растри інтенсивності, відносної освітленості схилів, контрольних горизонталей.

1. Буритинська Х., Бабушка А., Тарнавська О., Василюха І. Особливості відтворення гідрологічних об'єктів за матеріалами лазерного сканування місцевості. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів: Ліга-прес. – 2008, Вип. 1 (15). – С. 200-213.  
 2. Данилин І. М., Медведєв Е. М., Мельников С. Р. Лазерная локация земли и леса. – Красноярск, 2005. – 182 с. 3. Дорожнинський О. Л., Тукай Р. Фотограмметрия. – Львів: Вид. Нац. ун. "Львівська політехніка", 2008. – 332 с. 4. Інтерактивна допомога Help по Autodesk Civil 3D, 2006.  
 5. Magnuszewski A. GIS w geografii fizycznej. Wyd. naukowe PWN. – Warszawa, 1999. – 187 s.  
 6. Shrestha R. L., Carter W. E., Finer M., Lee P., Sartori M. Airborne Laser Swath Mapping: Accuracy Assessment for Surveying and Mapping Application // Journal of American Congress on Surveying and Mapping, Vol. 59, No 2, 1999. – P. 83-94. 7. <http://www.injgeogis.ru/> 8. [www.lidarmap.org/basics/](http://www.lidarmap.org/basics/).