

УДК 514.18

## **ПІДГОТОВКА ВИХІДНОЇ ХМАРИ ТОЧОК ПРИ СТВОРЕННІ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ**

Верещага В.М., д.т.н.,

Павленко О.М., к.т.н.

*Мелітопольська школа прикладної геометрії*

*Мелітопольський державний педагогічний університет  
імені Богдана Хмельницького (Україна)*

*Розглядаються питання підготовки вихідної інформації для її застосування у процесі геометричного моделювання рельєфу за допомогою геометричного апарату точкового числення Балюби-Найдиша (БН-числення).*

*Ключові слова: наземне лазерне сканування (НЛС), точкове числення Балюби-Найдиша (БН-числення), хмара точок, рельєф, геометрична модель.*

**Постановка проблеми.** Створенню формалізованої геометричної моделі топографічної поверхні за результатами наземного лазерного сканування (НЛС) передують створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР), для якої вихідна інформація, за результатами НЛС, потребує певної підготовки [2]. У даній статті розглядаються питання підготовки вихідної інформації для її застосування у процесі геометричного моделювання рельєфу за допомогою геометричного апарату точкового БН-числення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На основі досліджень [2], запропоновано спосіб підготовки вихідної інформації, отриманої за результатами НЛС. Але розробка носить загальний вигляд і є доволі складною для програмної реалізації. Розробка, що пропонується у цьому підрозділі, носить частинний випадок і тому є більш спрощеною і простішою у реалізації.

**Формування цілей статті.** У процесі підготовки вихідної, після НЛС, інформації необхідно виконати наступне:

- видалити шумову складову скану;
- геометрично встановити межі господарського майданчика, при цьому, видалити точкам скану, що знаходяться за межами майданчика;
- упорядкувати точки скану, видаливши надлишкову інформацію.

**Основна частина.** Згідно з дослідженнями [2] шумовою складовою вважаються елементи (предмети), що випадково опинилися у полі «зору» сканера у момент зйомки, що постійно знаходяться над поверхнею рельєфу земельної ділянки, при цьому, не цікавлять дослідника (дерева, кущі, будівлі, споруди тощо), а також множина точок, що знята сканером, але знаходиться за межами промислового майданчика.

Перш ніж скористатися результатами сканування, всі ці елементи, що подані відповідними точковими множинами, треба видаляти із вихідної хмари точок. Від якісного видалення шумової складової залежить робота усіх алгоритмів, що будуть розроблятися далі.

У роботі [2] розроблено алгоритми для видалення зайвих елементів з вихідної хмари точок та виконана його програмна реалізація, тому у своїх дослідженнях ми не будемо розглядати питання видалення шумів, а скористаємося цією розробкою.

Розглянемо частинний випадок підготовки вихідної хмари точок для створення множини вузлових точок, що будуть застосовуватись у побудові формалізованої континуальної геометричної моделі рельєфу промислового майданчика [3].

Що треба розуміти під підготовкою вихідної хмари точок? Річ у тім, що навіть на мінімальному налаштуванні матриці сканера, кількість точок після сканування буде надлишковою для створення неперервної формалізованої геометричної моделі сегменту топографічної поверхні.

У зв'язку з цим, підготовка вихідної хмари точок означає видалення надлишкової кількості точок вихідної хмари, щоби залишені точки віддзеркалювали геометрію рельєфу і дозволили, з наперед заданою точністю, континуально реконструювати сканований рельєф промислового майданчика [1]. У нашій розробці пропонується визначати та залишати точки вихідної хмари, що знаходяться на структурних лініях, зокрема на горизонталях.

Нехай до вихідної хмари точок застосовано алгоритми видалення шумової складової та встановлено межі [4] промислового майданчика.

Відстань між найвищою та найнижчою точками не перевищує одного метра, наприклад, дорівнює 0,5 метра. Призначимо крок між горизонталями 0,05 метра, отримаємо одинадцять рівнів, на яких необхідно виділити, з вихідної хмари точок, точки, що утворять дискретно подану горизонталь.

На рис. 1 графічно відображено ситуацію, яку було обумовлено вище.



Рис. 1. Ілюстрація до прикладу підготовки вихідної хмари точок

У наведеному прикладі (рис. 1) маємо десять горизонталей та одинадцять точку, у яку виродилась горизонталь. Для того, щоб сформувати, на поверхні хмари точок, дискретно подані горизонталі, для рівнів 2, ..., 10, діємо наступним чином (рис. 2).

Виходячи з отриманої щільності точок у вихідній хмарі та з наявного досвіду моделювання і дотримання необхідної точності реконструкції топографічної поверхні, обираємо допуск  $\epsilon$  на відхилення аплікату точок, що будуть визначати дискретну горизонталь, від аплікату відповідного рівня. На наш погляд, цей допуск  $\epsilon$  не повинен перевищувати 10% відстані між суміжними рівнями. У нашому прикладі, прийнято відстань 0,05h метра між рівнями 1 та 2 і 2 та 3, тому  $\epsilon \leq 0,05h$  сантиметрів. Відносно рівня горизонталі  $h_2$  усім точкам, що мають аплікату  $Z_i$  у межах  $(h_2 - 0,5 \epsilon) \leq Z_i \leq (h_2 + 0,5 \epsilon)$  призначаємо аплікату горизонталі другого рівня  $Z_i = Z_2$ . Аналогічно виконуємо і для інших рівнів 3, 4, ..., 10. Для першого рівня відхилення дорівнює  $h_1 + 0,5 \epsilon$  і усім точкам, аплікати яких  $Z_i \leq h_1 + 0,5 \epsilon$ , призначаємо  $Z_i = Z_1$ . Для вершини 11 відхилення призначаємо  $h_{11} - 0,5 \epsilon$  і усім точкам, аплікати яких  $Z_i \leq h_{11} - 0,5 \epsilon$ , призначаємо  $Z_i = Z_{11}$ .

Рис. 2. Схема відхилень від рівнів горизонталей. Отримані таким чином точки, зобразимо на горизонтальній площині і виконаємо аналіз щодо побудови додаткових горизонталей (рис. 3).



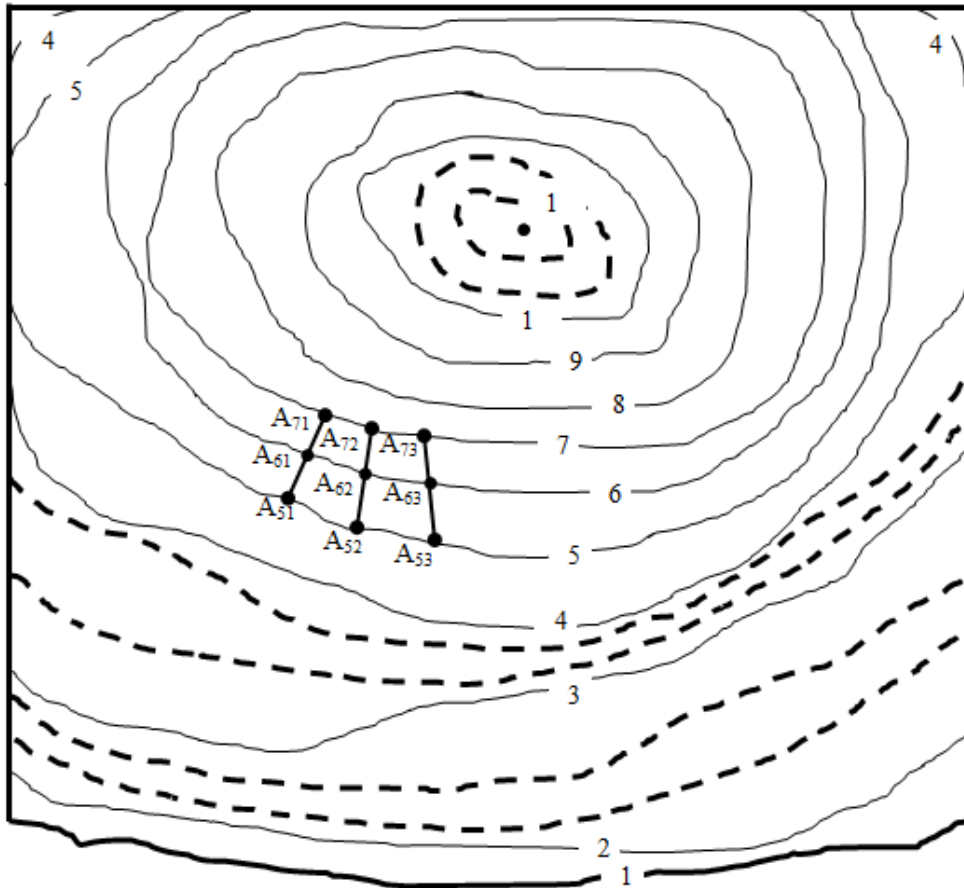


Рис. 3. Приклад дискретно поданих горизонталей сформованих на поверхні хмари точок

Як бачимо у плані, відстань між горизонталями, у більшості своїй, скрізь, приблизно, однакова, і можна вирахувати середню, але між другим та третім, між третім та четвертим і між десятим та одинадцятим рівнями відстані є значно більшими за середню. Це означає, що реконструкція рельєфу, з використанням визначених горизонталей, у вказаних місцях буде мати значно більшу похибку у порівнянні з рештою поверхні. Для виправлення цієї вади у вказаних місцях додатково проводимо горизонталі (на рис.3 показані штрихованими лініями), щоб у місцях найбільшої відстані між горизонталями досягти середньої відстані.

У вказаних місцях, у нашому прикладі, проведемо по дві додаткові горизонталі, але їх може бути і по одній, і по три, і по чотири, і так далі в залежності від рельєфу.

Ще раз наголосимо, що всі отримані горизонталі є дискретно поданими, тобто сформовані одновимірними замкненими, незамкненими або з розривами множинами точок, для побудови у зоні допусків  $\varepsilon$  у

відповідності до наперед визначених рівнів (рис. 1, рис. 2). Всі інші точки, між визначеними рівнями, виключаємо з тих, що будуть використані у цифровій моделі рельєфу.

Виникає питання, а навіщо не включені у цифрову модель точки необхідно було сканувати? Річ у тім, що, навіть при мінімально налаштованій матриці сканування, отримана хмара точок буде утримувати надлишкову кількість точок, яка доволі точно віддзеркалює рельєф, але повне включення усіх точок хмари для створення його цифрової моделі буде потребувати великих витрат комп'ютерних та фінансових ресурсів. Тому запропонований алгоритм побудови горизонталей призначений для оптимізації процесу «точність-видатки». Цей процес оптимізації не є метою дисертаційних досліджень і тому питання оптимізації не будуть досліджуватись.

Якщо, у разі тестування моделі, з'ясується, що точність реконструкції рельєфу, при обраній кількості горизонталей, не є задовільною, то необхідно повернутися до вихідної хмари точок і збільшити кількість горизонталей у тій частині моделі рельєфу, де виникла велика похибка.

**Висновки.** За результатами підготовки вихідної хмари точок, тобто, видалення шумової складової та надлишкової інформації шляхом побудови горизонталей, що графічно подають рельєф майданчика, можна застосувати алгоритми з метою отримання цифрової моделі рельєфу.

### *Література*

- 1 Верещага В.М. Оптимізація математичного моделювання на основі геометрії числа / В.М. Верещага // Перспективні напрями сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем (MEICS-2015). Тези доповідей на Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів: 25-27 листопада 2015. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара, 2015. – с. 11-12.
- 2 Кучеренко В.В. Формалізовані геометричні моделі нерегулярної поверхні для гіперкількісної дискретної скінченної множини точок: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01 / Вадим Володимирович Кучеренко; Дніпр. нац. ун-т. – Дніпропетровськ, 2013. – 187 с.
- 3 Павленко А.М. Условия установления конечных точек на карте рельефа / А.М. Павленко // In: Инновационные технологии в кооперативном образовательном процессе. – 2016. – С. 310-316.
- 4 Павленко О.М. Геометричне моделювання горизонтальних земельних ділянок з використанням методів точкового БН-числення: дис. ... канд.

техн. наук: 05.01.01 / Олександр Михайлович Павленко; МДПУ імені Б. Хмельницького. – Мелітополь, 2017. – 224 с.

## **ПОДГОТОВКА ИСХОДНОГО ОБЛАКА ТОЧЕК ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

Верещага В.М., Павленко А.М.

*Рассматриваются вопросы подготовки исходной информации для ее применения в процессе геометрического моделирования рельефа с помощью геометрического аппарата точечного исчисления Балюбы-Найдыша (БН-исчисления).*

*Ключевые слова: наземное лазерное сканирование (НЛС), точечное исчисление Балюбы-Найдыша (БН-исчисление), облако точек, рельеф, геометрическая модель.*

## **PREPARATION OF THE INITIAL CLOUD OF POINTS AT THE CREATION OF THE DIGITAL RELIEF MODEL FROM THE RESULTS OF GROUND LASER SCANNING**

Vereshchaha V., Pavlenko O.

*Questions of preparation of the initial information for its application in the process of geometrical modeling of a relief with the help of a geometrical device of a point BN-calculus are considered.*

*Keywords: ground laser scanning (GLS), point calculation Balyuba-Naidysh (BN-calculus), point cloud, relief, geometric model.*