

Мітченко Д.В., Головний маркшейдер ПРАТ «ПВНГЗК»,
Аспірант, 3 курс, ГР-23а,
Гірничо-металургійний факультет
Науковий керівник: Долгіх О.В., доцент, кандидат технічних наук
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ СКАНУВАННЯ НА ТОЧНІСТЬ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗСУВНИХ ПОВЕРХОНЬ

Наземне лазерне сканування на сьогодні є одним із найбільш ефективних методів моніторингу зсувних процесів, оскільки забезпечує високу щільність хмар точок, можливість багатократного повторного знімання та порівняння стану поверхні у різний період. Водночас точність реконструкції рельєфу зони зсуву значною мірою залежить від геометрії сканування, яка визначає положення станцій зйомки, кут падіння лазерного променя на поверхню, перекриття хмар точок, ступінь деталізації та кількість тіньових ділянок. У складних геоморфологічних умовах, характерних для активних зсувних ділянок, ці фактори стають критично важливими, оскільки навіть незначні помилки в описі рельєфу можуть призвести до суттєвих похибок у визначенні напрямків та швидкостей зміщення.

Особливу роль у точності лазерного сканування відіграє кут падіння променя. При скануванні поверхонь під великими кутами до нормалі зростає еліпсоїдальність сліду лазера, що призводить до розмиття сигналу та зниження точності визначення координат. У зсувних зонах такі умови є типовими, адже поверхня характеризується складними обрисами, різкими перепадами висот, уступами відриву та нерівномірним нахилом. Внаслідок цього частина дрібних морфологічних деталей може бути втрачена або згладжена програмними алгоритмами, що спотворює реальну картину деформацій.

Відстань між сканером і поверхнею також істотно впливає на якість даних. Зі збільшенням дистанції зменшується щільність хмар точок і зростає шум вимірювань, що унеможливає ідентифікацію дрібних змін рельєфу. У практиці моніторингу зсувів важливо забезпечувати такий вибір позицій обладнання, за якого досягається достатня деталізація поверхні без необхідності надмірного збільшення кількості станцій. Невдале розташування лазерного сканера може створювати тіньові зони — ділянки, куди промінь не потрапляє через перешкоди рельєфу, рослинність або штучні об'єкти.

Важливою складовою польових робіт є правильне розміщення контрольних маркерів, які використовуються для реєстрації хмар точок у єдиній системі координат. Нерівномірний розподіл маркерів або їх концентрація в одному секторі можуть призвести до локальних деформацій моделі та помилок у визначенні положення поверхні. Оптимальною вважається геометрія, за якої маркери знаходяться на різних висотах та рівномірно розподілені навколо зони сканування. Це дозволяє забезпечити жорсткість мережі та мінімізувати вплив випадкових похибок на результати реєстрації.

Рослинність є додатковим фактором, що погіршує точність лазерного сканування. Листя, гілки та трава здатні частково поглинати та розсіювати лазерне випромінювання, внаслідок чого виникають хибні точки або шумові артефакти. Особливо це критично для зон, де зміни в сантиметровому або міліметровому діапазоні можуть свідчити про початок активного зсувного процесу.

Перед початком польових робіт доцільно виконати попередній аналіз топографії території, що дозволяє визначити оптимальні місця встановлення сканера та прогнозувати можливі тіньові ділянки. Для цього можуть застосовуватися цифрові моделі рельєфу, супутникові знімки або попередні результати досліджень. Складні та розгалужені зсувні системи інколи вимагають каскадної організації станцій, розташованих на різних висотних рівнях, що дозволяє детально зафіксувати поверхні відриву, тіла зсуву та зони накопичення.

У багатьох випадках ефективною є інтеграція наземного лазерного сканування з даними, отриманими за допомогою безпілотних літальних апаратів. БПЛА дозволяють знімати ділянки, недоступні з землі, а їх комбінація з TLS забезпечує формування більш повної моделі рельєфу. Водночас поєднання таких даних вимагає точної реєстрації в єдиній системі координат, що досягається за допомогою GNSS-вимірювань або наземних контрольних точок.

Після польового етапу важливе значення має обробка хмар точок. На цьому етапі використовуються алгоритми фільтрації шуму, реєстрації даних з різних станцій, інтерполяції поверхонь і визначення зміщень. Неправильно вибрані параметри цих процедур можуть спричинити помилки інтерпретації, зокрема згладжування реальних деформацій. Тому обробка даних повинна здійснюватися з урахуванням особливостей геометрії сканування, що передувала.

Таким чином, геометрія сканування є одним із ключових чинників, що визначають точність реконструкції зсувних поверхонь та достовірність отриманих результатів щодо характеру й динаміки деформацій. Оптимальне планування позицій сканування, коректне розміщення маркерів, забезпечення достатнього перекриття хмар точок, а також попередній аналіз рельєфу здатні суттєво знизити похибки та підвищити якість тривимірних моделей. У поєднанні з сучасними методами обробки даних це дозволяє покращити моніторинг активних зсувних ділянок та забезпечити більш точне прогнозування розвитку небезпечних геодинамічних процесів.