

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ТОЧНОСТІ GNSS У МАРКШЕЙДЕРІЇ: ОЦІНКА ПОХИБОК ТА МЕТОДИ ЇХ ЗМЕНШЕННЯ

Методи, які використовуються для визначення просторової точності вимірювань у маркшейдерії, тривалий час залишалися практично незмінними. Багато з них не враховують сучасні можливості GNSS-технологій, а також особливості гірничо-геологічних умов, де часто відбуваються зсуви, деформації та інші динамічні зміни геометрії об'єктів спостереження. В умовах стрімкого розвитку супутникових технологій гостро постає питання вдосконалення методів оцінки похибок GNSS-вимірювань, які є основою при проектуванні та контролі маркшейдерських мереж.

В межах даного дослідження було проаналізовано джерела похибок GNSS-приймачів, зокрема, вплив багатопроменевості, геометрії супутників, іоносферних та тропосферних збурень. Також було виконано оцінку точності вимірів при використанні різних методів визначення координат (RTK, статика, PPP), а також розглянуто можливості використання методів компенсації похибок на основі статистичного аналізу спостережень, що вже виконувалися в інших дослідженнях. Застосування новітніх підходів, дозволило зменшити загальну похибку до 1–2 см навіть у складних умовах, характерних для гірничих підприємств.

Сучасні системи GNSS-спостережень вже застосовуються для автоматизованого моніторингу в реальному часі, проте існує потреба у більш глибокій оцінці їх метрологічних характеристик. Зокрема, у зонах з підвищеною геодинамічною активністю важливо своєчасно виявляти мінімальні зміщення, що можливо лише за умови високої просторової точності вимірювань.

Однією з проблем, що найбільш часто виникає при використанні GNSS-спостережень на гірничих об'єктах, є обмежена видимість супутників через складний рельєф або інфраструктуру підприємства. Це зумовлює необхідність використання комбінованих методів виконання робіт, наприклад, виконання GNSS-спостереження у поєднанні з даними, отриманими електронними тахеометрами або наземним лазерним скануванням. Такий підхід дозволяє суттєво підвищити достовірність результатів та покращити просторове моделювання зони спостереження.

Окрему увагу при виконанні досліджень приділено оптимізації розміщення GNSS-приймачів під час виконання зйомки. Було визначено, що правильна побудова мережі спостережних пунктів, дозволяє уникнути систематичних похибок, які можуть виникати через зміщення контрольних точок або нестабільні умови монтажу обладнання. Це особливо важливо при довготривалих спостереженнях у зонах з потенційно небезпечними процесами, підтверджено і дослідженнями інших авторів.

У перспективі результати цього дослідження можуть стати основою для впровадження інтелектуальних систем моніторингу стану гірничих масивів, які в режимі реального часу аналізуватимуть отримані координати, виявлятимуть тенденції зміщень та прогнозуватимуть розвиток деформацій. Таким чином GNSS-технології мають всі шанси стати ключовим інструментом у забезпеченні безпечного та сталого розвитку гірничих робіт.

Під час дослідження було також здійснено аналіз похибок, пов'язаних з відхиленням від ідеальної базової геометрії GNSS-мереж. Було виявлено, що навіть невеликі неточності при побудові опорних маркшейдерських мереж можуть призвести до суттєвого спотворення результатів позиціонування у зонах зсувів. Вітчизняними вченими розроблені рекомендації, які дозволяють мінімізувати ці впливи, за рахунок покращення конфігурації та верифікації пунктів GNSS-мереж у складних геологічних умовах.

Окремо було розглянуто можливості інтеграції GNSS-систем з геоінформаційними платформами, для візуалізації результатів спостережень та побудови тривимірних моделей деформацій. Такий підхід дозволяє значно підвищити ефективність аналізу отриманих даних та прийняття управлінських рішень. У подальшому це відкриває нові перспективи у створенні цифрових двійників гірничих об'єктів, де GNSS-дані відіграють ключову роль у підтримці актуального стану моделі в режимі реального часу.