

УДК 528.04

ЗАСТОСУВАННЯ РАДАРІВ ІЗ СИНТЕЗОВАНОЮ АПЕРТУРОЮ ДЛЯ ВИСОКОТОЧНОГО ГЕОПРОСТОРОВОГО МОНІТОРИНГУ

І. Тревого

Національний університет “Львівська політехніка”

А. Горб

Leica Geosystems

О. Мелешко

Навігаційно-геодезичний центр

Ключові слова: гірничодобувне виробництво, кар’єр, високоточний геопросторовий моніторинг, інтерферометричний радар із синтезованою апертурою (IPCA), георадар.

Вступ

Зберегти життя та майно – це гасло стисло характеризує призначення високоточного геопросторового моніторингу (далі моніторингу). Наука, авіакосмічна промисловість, машинобудування, цивільне та промислове будівництво, будівництво енергетичних або транспортних споруд та тунелювання – простіше перелічити сфери економіки, в яких немає місця для моніторингу [1]. На об’єктах гірничодобувного виробництва одночасно працює велика кількість людей і задіяно дороге устаткування. Простори, що підлягають моніторингу, – величезні, а вимоги до точності й оперативності реагування на зсуви породи – доволі високі.

Постановка проблеми

Зазвичай моніторинг у гірничодобувному виробництві виконується із застосуванням тахеометрів, GNSS-приймачів та інклінометрів, але ці прилади не завжди ефективні в умовах відкритих кар’єрів. Гірничодобувні компанії в усьому світі поступово відмовляються від традиційних методів і натомість використовують наземні інтерферометричні радари із синтезованою апертурою (IPCA). Впродовж останнього десятиріччя IPCA-технології стають все поширенішими у гірничодобувному виробництві не лише через високі технічні показники і здатність працювати незалежно від метеорологічних умов, але й завдяки можливості накопичувати результати, аналізувати їх і прогнозувати критичні деформації за кілька діб до їх виникнення.

Постановка завдання

У цій статті подано стислий опис IPCA-технології, запропоновано огляд програмно-апаратних рішень, які використовують провідні гірничодобувні компанії світу для зменшення ризику аварій і катастроф на виробництві.

Виклад основного матеріалу

Принцип дії

Радар випромінює радіосигнали, а потім приймає зворотні відлуння імпульсів, формуючи у результаті зображення об’єкта, що відбиває сигнали. Як відомо, що більша апертура антени, то вищою буде роздільна здатність отриманого зображення. Отже, щоб отримати зображення високої якості, необхідно збільшити фізичну апертуру, тобто застосувати антену великого розміру. Кожному імпульсу притаманні унікальні характеристики.

Інтерферометричний радар синтезує апертуру великого розміру, використовуючи когерентний режим. Головним принципом інтерферометрії є порівняння двох зображень, коли зображення фази від одного виміру віднімається з іншого. Дані, отримані з декількох позицій антени, об’єднуються за допомогою алгоритму оброблення записаного радіосигналу [2]. Це дає змогу побудувати синтезовану апертуру і формувати зображення з більшою роздільною здатністю. Порівняння зображень, отриманих із застосуванням радарів з реальною і синтезованою апертурами, наведено на рис. 1.

Отже, інтерферометричний радар із синтезованою апертурою, випромінюючи когерентні за фазою сигнали в діапазоні надвисоких частот, приймає і реєструє зворотні відлуння кожного імпульсу, формуючи зображення об’єкта. Імпульси передаються і приймаються за допомогою однієї антени з просторовою фільтрацією.

Фактично моніторинг зсувів та деформацій із застосуванням IPCA-систем здійснюється завдяки реєстрації різниці фаз між двома радіолокаційними знімками. Основні переваги IPCA-систем порівняно з іншими методами геопросторового моніторингу такі:

- дистанційне зондування
- висока чутливість до малих деформацій (до 0,1 мм);
- великий діапазон вимірювань (до 5 км);
- можливість одночасного отримання до 300 тис. пікселів вимірювань;
- швидкість сканування (до декількох секунд).

Огляд сучасних радарних систем

Світовим лідером з виробництва радарів із синтезованою апертурою є італійська компанія

Ingegneria Dei Sistemi (IDS). Технічні характеристики IPCA-систем серії IBIS виробництва IDS відповідають зазначеним вище. До того ж вони повністю захищені від пилу і сильних потоків води під будь-яким кутом (захист від зовнішніх умов згідно зі стандартом IP66). Отже, зрозуміло, чому близько 200 георадарів успішно працюють більш ніж у 80 кар'єрах світу. Розповімо докладніше про деякі з георадарів серії IBIS.

Стационарна радарна система

Стационарна радарна система IBIS-FM (рис. 2) розроблена для цілодобового моніторингу стійкості бортів відкритих кар'єрів. Система працює на відстанях до 4,5 км і забезпечує покриття до 14 кв. км, гарантовано ресструючи субміліметрові зсуви в режимі реального часу. Сканування зони охоплення здійснюється за 3–5 хв, незалежно від температури, вітру та ступеня природного освітлення місцевості [3].

Пересувна радарна система

Особливостями пересувної радарної системи IBIS-FMT (рис. 2) є те, що вона має технічні характеристики

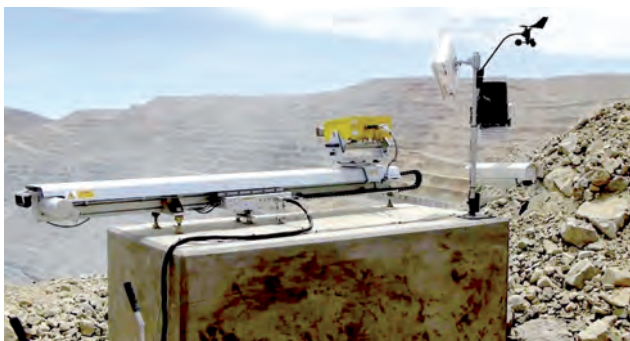


Рис. 1. Зображення отримують із застосуванням двох типів радарів

стационарної системи, хоч сконструйована на пересувній платформі. Завдяки певній конструктивній мобільності систему IBIS-FMT можна відбуксирувати на різні ділянки кар'єру. Цьому сприяє вбудований дизельний електрогенератор і можливість підключення вітрогенератора та гальванічних панелей.

Пересувна компактна радарна система

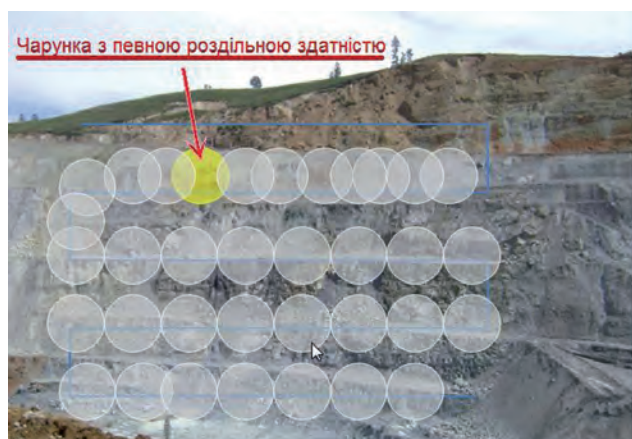
Радарна система IBIS-ROVER також здатна працювати в цілодобовому режимі й забезпечувати субміліметрову точність, але завдяки компактному дизайну призначена для частих пересувань по різних ділянках кар'єру. Отже, IBIS-ROVER використовується здебільшого для вирішення тактичних завдань.

Програмно-апаратний комплекс

Повністю автоматизований програмно-апаратний комплекс поєднує сформоване георадаром зображення з цифровою моделлю рельєфу (рис. 4) і здатний визначати: ділянки зсувів, нахил укосів, швидкі (см/год) і повільні (мм/місяць) зміщення. Накопичення і аналіз цих даних уможливають прогнозування потенційних великомасштабних нестійкостей і у загальному схилі кар'єру, і між кількома сегментами схилів.

Висновки

Переваги IPCA-технологій порівняно з попереднім поколінням (радарів з реальною апертурою) очевидні: це і підвищення роздільної здатності отриманого зображення, збільшення робочої відстані від схилу, зменшення часу знімання, зменшення кількості механічних рухомих частин у приладі, знижене енергоспоживання. Покращення цих показників дає змогу користувачам повністю охопити всі потенційно нестабільні ділянки і по загальному схилу, і між кількома його сегментами.



Радар з реальною апертурою



Радар із синтезованою апертурою

Рис. 2. Стационарна радарна система IBIS-FM



Рис. 3. Радарна система IBIS-FMT



Рис. 4. Радарна система IBIS-ROVER

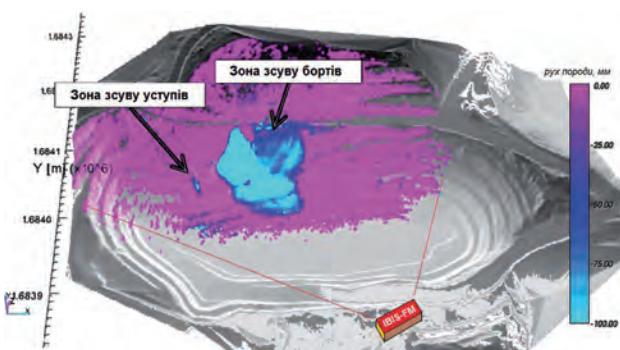


Рис. 5. Приклад відображення руху бортів кар'єру упродовж доби

Використовуючи радарні системи компанії IDS, гірничодобувні компанії отримують цінний інструмент управління ризиками, пов'язаними із недостатністю забезпечення контролю зсувів. Різноманітне конструктивне виконання георадарів серії IBIS – стаціонарне та мобільне – робить радарні системи ідеальним інструментом і для тактичного, і для стратегічного моніторингу. Стрімкий розвиток

високих технологій і радіолокації зокрема вже привів до того, що моніторинг бортів кар'єрів з використанням IRSA-технологій став стандартним рішенням у сучасному світі.

Сподіваємось, у недалекому майбутньому українські гірники теж зможуть скористатися перевагами IRSA-технологій.

Література

1. Тревого І. Застосування мультистанцій Leica MS60 в цілях проведення високоточного геопросторового моніторингу / І. Тревого, А. Горб, О. Мелешко / Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць. – 2011. – № 21.
2. Techniques for three-dimensional displacement vector using ground-based interferometric synthetic aperture radar / Leoni L., Spencer G., Coli N., Coppi F., Michelia A. // Australian Centre for Geomechanics, Perth, 2016
3. Critical Short Term and Strategic Long Term Slope Monitoring Radar – an approach using SAR / Coli N., Coppi F., Donati M., Funaioli G., Leoni L. // Journal of Engineering Geology. Proceedings of EGNM Pisa. – Italy, 2015.

Застосування радарів із синтезованою апертурою для високоточного геопросторового моніторингу

І. Тревого, А. Горб, О. Мелешко

Визначено переваги IRSA-технологій порівняно з попереднім поколінням (радарів з реальною апертурою). Покращення цих показників дає змогу користувачам повністю охопити всі потенційно нестабільні ділянки як на загальному схилі, так і між кількома його сегментами.

Применение радаров с синтезированной апертурой для високоточного геопространственного мониторинга

И. Тревого, А. Горб, А. Мелешко

Представлены преимущества IRSA-технологий по сравнению с предыдущим поколением (радаров с реальной апертурой). Улучшение этих показателей позволяет пользователям полностью охватить все потенциально нестабильные участки как по общему склону, так и между несколькими его сегментами.

Application of radar with synthetic aperture for high-precision geospatial monitoring

I. Trevoho, A. Gorb, A. Meleshko

The article describes the advantages of IRSA technology compared to the previous generation (real aperture radar). Improvements in these indicators enable users to fully cover all potentially unstable areas like the general slope and across multiple segments.