

ЗАСТОСУВАННЯ РАДАРІВ ІЗ СИНТЕЗОВАНОЮ АПЕРТУРОЮ ДЛЯ ВИСОКОТОЧНОГО ГЕОПРОСТОРОВОГО МОНІТОРИНГУ

І. Тревого

Національний університет Львівська політехніка

[А. Горб](#) Leica Geosystems, [О. Мелешко](#) [Навігаційно-геодезичний центр](#), м. Харків

Ключові слова: гірничодобувне виробництво, кар'єр, високоточний геопросторовий моніторинг, інтерферометричний радар із синтезованою апертурою (ІРСА), 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. При цьому простори, що підлягають моніторингу – величезні, а вимоги до точності й оперативності реагування на зсуви породи – досить високі.

Постановка проблеми

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

Постановка завдання

У цій статті подано стислий опис ІРСА-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 таким чином зображення об'єкта, що відбиває сигнали. Як відомо, що більше апертура антени, то вищою буде роздільна здатність отриманого зображення. Таким чином, для отримання зображення високої якості має бути збільшена фізична апертура, тобто застосована антена великого розміру. При цьому, 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, що отримані з декількох позицій антени, об'єднуються за допомогою алгоритму обробки 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 застосування 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)

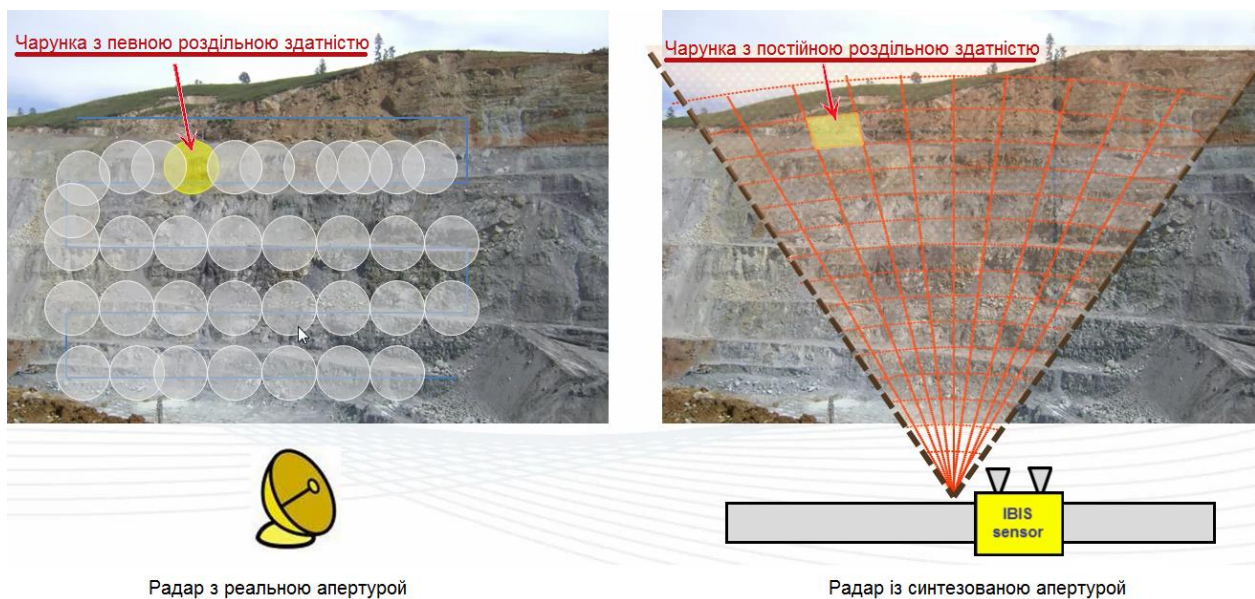


Рис. 1. Зображення, що отримані із застосуванням двох типів радарів

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 тим, що зазначені вище, при цьому вони повністю захищені від пилу і сильних потоків води під будь-яким кутом (захист від зовнішніх умов згідно стандарту IP66). Отже, стає зрозумілим, чому біля 200 георадарів успішно працює 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., при цьому гарантовано реєструються субміліметрові зсуви в режимі реального часу. Сканування зони охоплення здійснюється за 3-5 хвилин, незалежно від температури, вітру та ступеня природного освітлення місцевості [3].

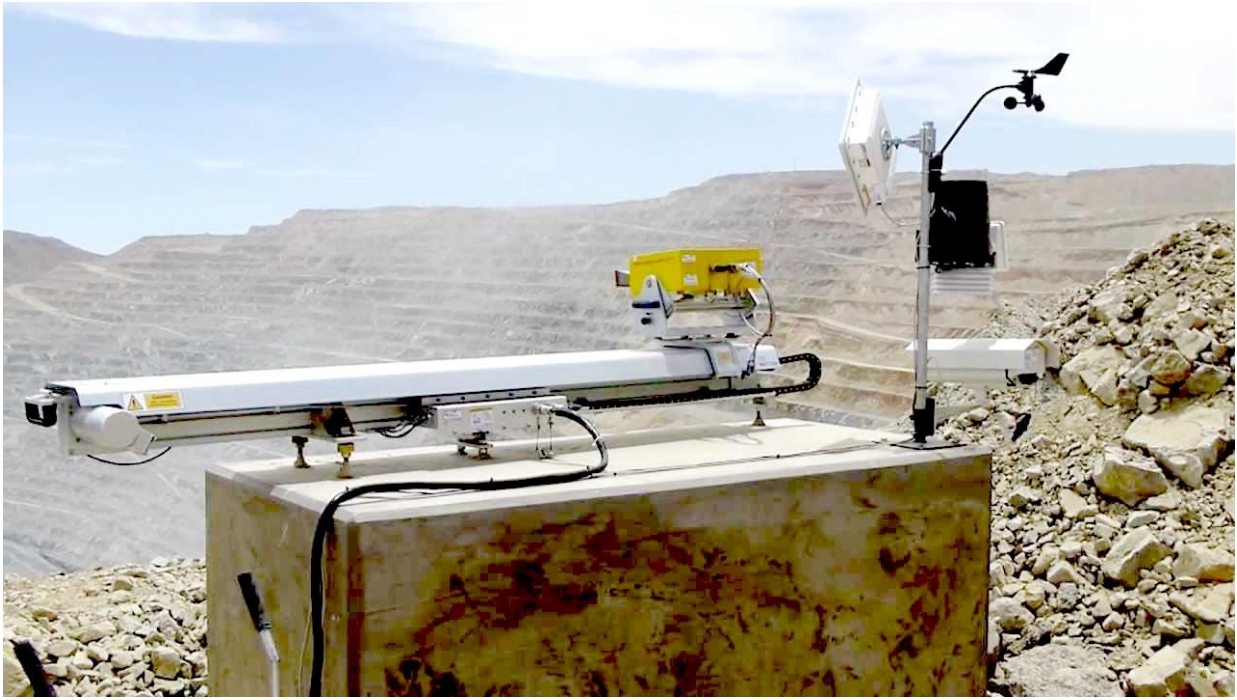


Рис. 2. Стационарна радарна система IBIS-FM

Пересувна радарна система

Особливостями пересувної радарної система IBIS-FMT (рис. 2) є те, що маючи технічні характеристики стаціонарної система вона сконструйована на пересувній платформі. Маючи певну конструктивну мобільність, система IBIS-FMT може бути відбуксирувана по різних ділянках кар'єру. Цьому сприяє вбудований дизельний електрогенератор і можливість підключення вітрогенератора та гальванічних панелей.



Рис. 3. Радарна система IBIS-FMT

Пересувна компактна радарна система

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



Рис. 4. Радарна система IBIS-ROVER

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/годину) і повільні (мм/місяць) зміщення. Накопичення і аналіз цих даних дає можливість прогнозування потенційних великомасштабних нестійкостей і у загальному схилі кар'єру, і між кількома сегментами схилів.

Висновки

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

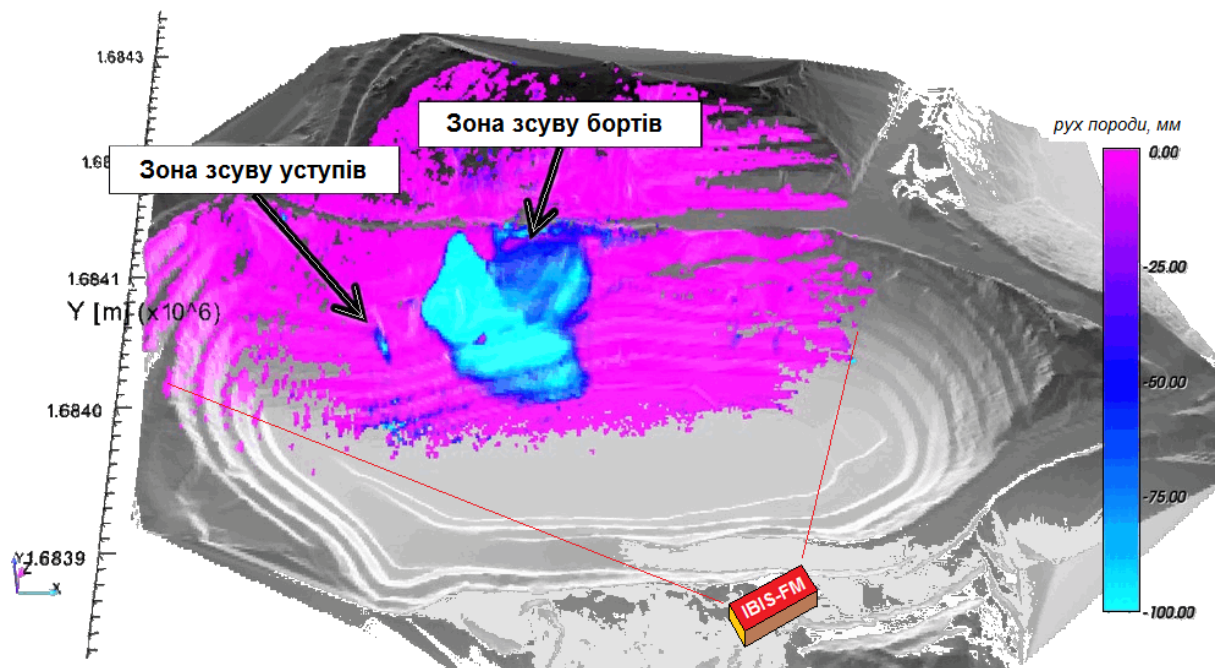


Рис. 5. Приклад відображення руху бортів кар'єру упродовж доби

Використовуючи радарні системи компанії IDS, гірничодобувні компанії отримують цінний інструмент управління ризиками, що пов'язані із недостатністю забезпечення контролю зсувів. Різноманітне конструктивне виконання георадарів серії IBIS – стаціонарне та мобільне – робить радарні системи ідеальним інструментом як для тактичного, так і стратегічного моніторингу. Стримкий розвиток високих технологій і радіолокації зокрема, вже призвів до того, що моніторинг бортів кар'єрів з використанням IPСА-технологій став стандартним рішенням в сучасному світі.

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

Література

1. Тревого І., Горб А., Мелешко О. – ["Застосування мультистанцій Leica MS60 в цілях проведення високоточного геопросторового моніторингу"](#) / Львівська політехніка. Збірник наукових праць No21, 2011 р.
2. Leoni L., Spencer G., Coli N., Coppi F., Michelia A. - "Techniques for three-dimensional displacement vector using ground-based interferometric synthetic aperture radar" / Australian Centre for Geomechanics, Perth, ISBN 978-0-9924810-5-6, 2016
3. Coli N., Coppi F., Donati M., Funaioli G., Leoni L. – "Critical Short Term and Strategic Long Term Slope Monitoring Radar – an approach using SAR" / 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 IPСА-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.