

МОНІТОРИНГ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НАЗЕМНОЇ РАДАРНОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ

Аналіз зсувів та обвалів показує, що найбільш часто деформації фіксуються або за результатами візуальних спостережень шляхом виявлення тріщин і просадок, або вже за наслідками деформації - концентрації на бермах розпушеної гірської маси, пошкодження гірничого устаткування або промислових споруд. Мають місце випадки, коли не вдається своєчасно за результатами інструментальних спостережень виявити на ранній стадії процес деформування укосів і оперативно вжити ті чи інші заходи для підвищення безпеки.

Освоєння родовищ, що розробляються відкритим способом, все в більш складних умовах призводить до необхідності пошуку рішень щодо скорочення витрат. Одним з таких рішень є скорочення розкривних робіт шляхом збільшення кутів нахилу бортів кар'єрів або проведення гірничих робіт в режимі керованих або допустимих деформацій. Дані рішення, з одного боку, відкривають можливості для отримання додаткового прибутку, з іншого боку, призводять до підвищення ризиків.

У будь-якому з розглянутих випадків першочерговим завданням є забезпечення стійкості бортів кар'єрів, ділянок і уступів. Оцінити правильність проектних рішень в частині геомеханічного забезпечення, розробити і своєчасно реалізувати протидеформаційні заходи, а при необхідності скорегувати параметри укосів не представляється можливим без контролю за станом борту.

На сьогоднішній день є велика кількість різних нових технологій, впровадження в українське виробництво яких відбувається досить повільно і має певні труднощі. Це пов'язано перш за все з відсутністю детальних інструкцій із застосування нового обладнання, методик інтерпретації вимірювань, а також рекомендацій щодо вибору критеріїв безпеки.

У зв'язку з цим перед впровадженням нових систем (обладнання) моніторингу стійкості укосів гірничим підприємствам необхідно організовувати дослідні ділянки для випробувань.

На даний момент найбільш прогресивним інструментом для моніторингу стійкості укосів є георадар. На світовому ринку є лише кілька компаній, які реалізують дане обладнання: IDS (Італія), що входить в корпорацію Гексагон, Groundprobe (Австралія) і досить рідко LISA (JRC-Lislab) і GPRI (Gamma Remote Sensing). Радари IDS компанії Гексагон і Groundprobe набули найбільшого поширення в Україні.

Аналіз радарів різних компаній показав, що в цілому георадари за своїми характеристиками, незважаючи на різні технологічні рішення, досить близькі між собою. Однак вони мають принципові відмінності в роботі програмного забезпечення і в технічній підтримці. Всі ці фактори впливають на якість проведення оперативного моніторингу, від якого в кінцевому рахунку залежить прийняття технічних рішень.

Інтерферометричні радари отримали досить широке поширення по всьому світу. Це пов'язано в першу чергу з неаперечними перевагами, які надають радарні системи в порівнянні з іншими видами вимірювань.

Світова практика використання георадарів

Як приклади гірських підприємств, де радарна установка використовується вже тривалий час, можна виділити кар'єр в регіоні Агурас Кларас в Бразилії. Спочатку мережа моніторингу на даному кар'єрі обмежувалася датчиками деформації, екстензометри і встановленими на схилах призмами, зйомка яких велася ручним тахеометром. Моніторинг стійкості укосів здійснювався лише за деякими доступними ділянками, в той час як ряд відповідальних ділянок залишалися поза зоною покриття спостережень. У зв'язку з цим для підвищення надійності моніторингу на даному підприємстві стали застосовувати георадар. Незважаючи на непрості умови для спостережень і велика кількість рослинності георадар виявився корисним для розуміння механізмів деформування борту.

Інший приклад, який можна привести - це родовище залізної руди в Тамандуа, також в Бразилії. Спочатку в кар'єрі розташовувалася мережа з 100 вимірювальних призм, зйомка за якими велася ручним тахеометром. В результаті зйомки по призмам була виявлена деформація зі швидкістю зсуву близько 1 мм/доб, після чого було прийнято рішення про встановлення радара. Результатом його використання стало прийняття рішення про припинення робіт в пік сезону дощів через виникаючі величини зсувів.

Одним з яскравих прикладів раннього прогнозу зсуву з використанням георадарів є подія, яка сталася 10 квітня 2013 р. на кар'єрі Бінгем, США. Кар'єр знаходиться на північному заході від міста Солт-Лейк-Сіті, штат Юта, і веде розробку міднопорфірового родовища. Глибина кар'єру становить близько 1200 м і займає площу приблизно 7,7 км². На кар'єрі Бінгем в 2010 р. були встановлені георадари різних компаній: IBIS-FM і Groundprobe. Два з трьох радарів IBIS-FM були спрямовані одночасно на рухомий зсув і виявили перші зміщення ще в лютому 2013 р.. Перший сигнал тривоги IBIS-FM зробив 10 квітня о 6 ранку, в той час як обвал стався о 9:30 вечора, приблизно через 15 годин після першої тривоги. В результаті даної деформації жертв серед людей не було, тому що вони були вчасно виведені з небезпечної зони, а її розвитку в часі значну увагу було приділено в ЗМІ.

Особливості та основні принципи роботи інтерферометричного радара

До основних переваг радара відносяться: висока точність, проведення вимірювань на безпечній відстані від об'єкта, що спостерігається, суцільна зона покриття, спостереження в режимі 24/7, можливість зробити знімок в будь-який час доби незалежно від освітленості, в умовах хмарності і туману. Однак принцип проведення вимірювань георадаром відрізняється від принципів, які використовуються в традиційному маркшейдерському обладнанні. Вимірювання, що виконуються радаром, засновані на використанні ефекту інтерференції електромагнітних хвиль або, іншими словами, накладення електромагнітних хвиль.

Радар є активним датчиком і посилає імпульс в напрямку земної поверхні з частотою 17,1-17,3 ГГц. Імпульс взаємодіє із землею, частково поглинається і частково відбивається в сторону радара. Інтерферометричний аналіз дозволяє отримати дані про зміщення об'єкта шляхом порівняння інформації, зібраної в різний час, про зрушення фаз відбитого від об'єкта сигналу (рис. 1). Величина зміщення прямо пропорційна величині різниці фаз.

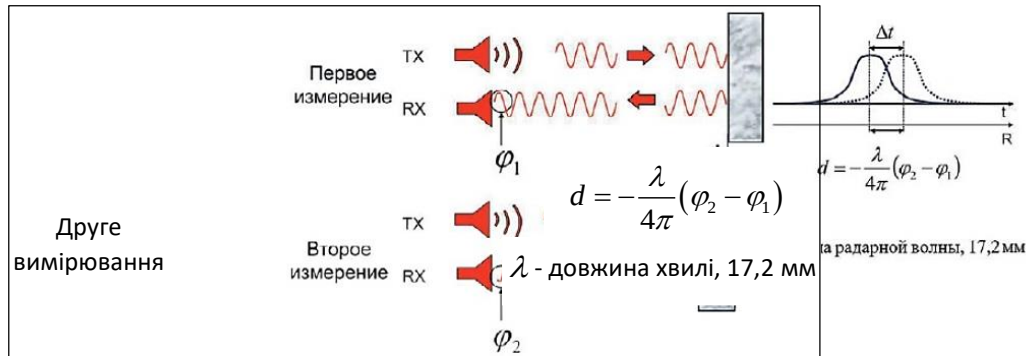


Рис. 1 – Принцип вимірювання радаром

Висока точність вимірювань досягається за рахунок малої довжини хвилі, яка, з іншого боку, є і обмеженням, тобто якщо зсув перевищує довжину хвилі, то радар не дозволяє достовірно визначити величину зміщення. Однак, з огляду на частоту проведених вимірювань довжини хвилі радара, вони є достатніми для здійснення моніторингу за стійкістю укосів навіть при обваленні скельних масивів.

У радарах із синтезованою апертурою використовується широкий промінь, що охоплює всю ділянку яка знімається як по висоті, так і по ширині. Під час зйомки скануючий пристрій переміщується в горизонтальній площині вздовж лінійного рейла, скануючи одну і ту ж ділянку з різних положень. Під час кожного вимірювання відображення радарного сигналу приймається від кожного пікселя. Це відображення дає інформацію про амплітуду сигналу і фазу.

Після встановлення фаз визначається величина зсуву. Варто відзначити, що дана величина визначається в перше її візування, тобто фактично проводиться вимірювання не загального вектора зміщення, а його вимірювання (рис. 2)

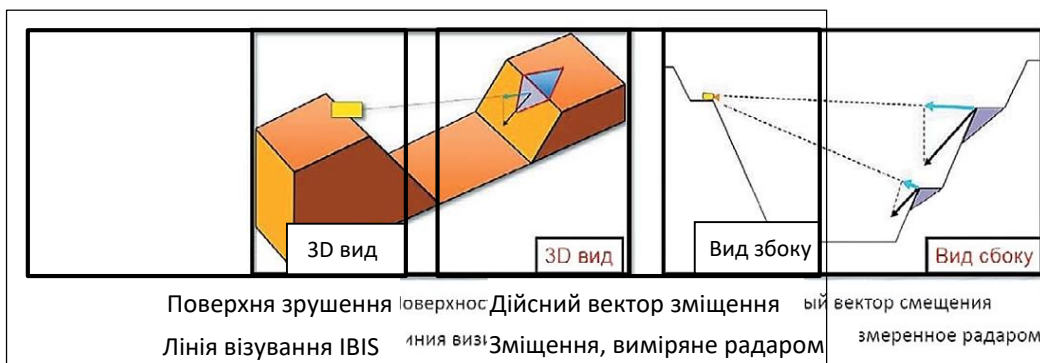


Рис. 2 – Визначення зміщення радаром

Дані радіолокаційної зйомки можуть представлятися в двох видах:

- 1-й вид - теплова карта, де ділянки зрушень в залежності від їх інтенсивності відображаються у вигляді теплих або холодних кольорів. Для наочності інформації, що представляється теплова карта зазвичай накладається на підвантажену цифрову модель місцевості (ЦММ);

- 2-й вид відображення зрушень - графіки. На них, як правило, представлена залежність від часу або величин зсуву, або швидкості зрушень. Аналіз може відбуватися як по окремих точках, так і по виділених областях.

Георадар зарекомендував себе в світі як ефективний і зручний інструмент для контролю за стійкістю бортів кар'єрів і їх ділянок. І хоча в Україні подібні технології поки мають слабе поширення, в останні роки все більше підприємств звертають на них свою увагу.

Широка площа покриття і спостереження в реальному часі якісно відрізняють інтерферометричний метод від традиційних способів і дозволяють не просто вести спостереження за конкретними ділянками, а й виявляти наявність деформацій вже на етапі експлуатації.

Надійність, технологічність, і простота у використанні роблять інтерферометричний радар одним з кращих рішень для контролю безпеки гірничих робіт і попередження критичних ситуацій, пов'язаних з деформаціями бортів відкритих гірничих виробок. Радар виконує оперативний моніторинг потенційно небезпечних ділянок кар'єра, дозволяє виявити деформаційні процеси які швидко розвиваються, а також виконує своєчасне оповіщення.

Випробування радара показали, що цей пристрій не є повністю автономним і незалежним. Радар по своїй суті є якісним інструментом, за яким необхідно стежити, підтримувати його в справному стані, а також правильно працювати, що дозволить отримати досить надійні дані про стан прибортового масиву. Крім того, радар відмінно

поєднується з іншими маркшейдерськими методами. Спільне їх використання підвищує точність спостережень, дозволяючи отримувати більш повну інформацію про процеси, що відбуваються всередині масиву.

Налаштування віддаленого доступу та отримання оперативних даних дозволяють зблизити гірниче виробництво і наукові організації, що забезпечить більш тісну їх взаємодію у вирішенні поточних задач.

На жаль, при використанні радарів в Україні виникають не тільки технічні питання, а й питання на законодавчому рівні - на даний момент відсутня нормативно-методична база щодо застосування радарів. Однак в цьому напрямку вже ведуться роботи і в майбутньому будуть розроблені як інструкції для конкретних підприємств, так і загальні методичні документи щодо використання наземних інтерферометричних радарів.

У найближчій перспективі георадари будуть знаходити все більше застосування в гірничому виробництві для контролю за станом стійкості укосів.