

Т.О. ПОДОЙНИЦИНА, ст. викл., А.В. ПЕРЕМЕТЧИК, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ МАСИВІВ ТВЕРДИХ ТА НАФТОГАЗОВИХ РОДОВИЩ

Підземні порожнини, що формуються в процесі гірничих робіт, спричиняють порушення рівноваги гірського масиву, що може призводити до зсувних явищ і просідання земної поверхні. Такі зміни становлять потенційну загрозу для технічної інфраструктури та безпеки виробництва. Для визначення контурів і параметрів підземних порожнин застосовуються як традиційні геофізичні технології, так і сучасні цифрові методи.

Сейсмічна локація у активному та пасивному режимах є одним із найбільш інформативних методів виявлення порожнин у широкому спектрі гірничо-геологічних умов. Принцип її роботи ґрунтується на зміні характеристик пружних хвиль – швидкості та коефіцієнтів затухання – що корелюють зі станом напруження в гірських породах.

Метод георадіолокації (GPR) базується на реєстрації відбиття високочастотних електромагнітних хвиль на межах шарів з різними електричними властивостями. GPR забезпечує високу ефективність у виявленні неоднорідностей у верхній частині розрізу та широко застосовується в Україні як для геологічного зондування, так і для гуманітарного розмінування (Invictus GR, 2024). Мікросейсмічний моніторинг, що передбачає реєстрацію низькоенергетичних імпульсів, пов'язаних із руйнуванням порід, дає можливість здійснювати безперервний просторово-часовий контроль тривимірного об'єму гірських порід та оперативно отримувати аналітичні дані.

Застосування безпілотних літальних апаратів, систем LiDAR, ультразвукових, лазерних, відео- та освітлювальних технологій є особливо ефективним у виробках зі складним доступом або у зонах підвищеного ризику. Такі системи забезпечують збір даних з ділянок, недосяжних для людини, та дозволяють отримувати точні геометричні вимірювання, формувати тривимірні моделі та здійснювати детальний візуальний контроль. Серед цифрових технологій особливе місце посідають фотограмметричні методи, які забезпечують побудову детальних 3D-моделей за зображеннями високої роздільності, а також 3D-лазерне сканування, що дає змогу формувати високоточні хмари точок для кількісної оцінки параметрів порожнин. Інтеграція результатів у ГІС-середовище забезпечує комплексний аналіз та зіставлення різнорідних даних.

Роботизовані системи та автономні наземні платформи, оснащені сенсорами фізичних параметрів (температура, вологість, газовий склад), дозволяють безпечно проводити дослідження у тунелях, камерах і стволах без безпосередньої участі людини.

Упродовж останніх років значного поширення набув метод інтерферометричної радарної зйомки InSAR, що забезпечує супутниковий моніторинг деформацій земної поверхні з точністю до міліметрів на рік. Додаткову інформативність забезпечують IoT-сенсорні мережі, що забезпечують отримання поточних даних у режимі реального часу.

Штучний інтелект дедалі частіше використовується для аналізу великих масивів інформації та прогнозування ризиків утворення пустот у гірському масиві. Упровадження алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту значно підвищує ефективність автоматизованої інтерпретації великих масивів даних ГДС, забезпечуючи об'єктивність, швидкість опрацювання та зниження впливу суб'єктивного фактору. Розвиток технологій LWD/MWD (Logging While Drilling/Measurement While Drilling) створює можливості моніторингу параметрів пласта в режимі реального часу, що дозволяє оперативно коригувати траєкторію буріння та забезпечувати оптимальне розкриття продуктивних горизонтів.

Таким чином, сучасні ГДС є однією з найбільш інформативних складових нафтогазових досліджень, що забезпечують комплексну оцінку стану продуктивних пластів, визначення умов їхнього насичення та ефективне управління процесами видобутку вуглеводнів.

Узагальнюючи, сучасні маркшейдерські та геофізичні технології істотно підвищують точність і надійність моніторингу стану гірських порід. Комплексна інтеграція автономних систем, методичного забезпечення та інструментів штучного інтелекту сприяє оперативній і ефективній оцінці зсувних процесів як на земній поверхні, так і у глибинних горизонтах гірського масиву