

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СЕЙСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ У СОЛЯНИХ ШАХТАХ

З 1920-х років розпочався видобуток калійних солей на Львівщині. Наприкінці 1960-х років був зданий в експлуатацію новий рудник, побудовано місто Стебник. Стебницьке державне підприємство “Полімінерал”, найстаріше підприємство гірничо-хімічної промисловості Львівської обл., після аварії у 1983 р. зменшило обсяг виробництва, стало збитковим. Підприємство складається з двох калійних шахт, одна з яких – рудник № 2 – знаходиться в аварійному стані. В шахту просочується вода, що супроводжується розвитком соляного карсту. Водоприплив з кожним роком збільшується, на поверхні з’явилися карстові провали. Урядова комісія з надзвичайних ситуацій прийняла рішення про консервацію шахти. Відділенням гірничо-хімічної сировини Академії гірничих наук України за участю фахівців Стебницького державного гірничо-хімічного підприємства “Полімінерал” була запропонована концепція консервації рудника з техніко-економічним обґрунтуванням, однак фінансування цих робіт виявилось нереальним [1].

Заповнення виробок ненасиченим розсоллом спричинює ризик втрати стійкості ціликів і стелин у разі недостатнього контролю за рухом розчинів і вилуговуванням солей. Індикатором руйнування можуть бути коливання рівня води у виробках, прискорене просідання поверхні, сейсмічні коливання. Для спостереження за цими процесами з метою прогнозування аварійних ситуацій доцільно, в числі інших систем спостереження, встановити автоматичну систему сейсмічного моніторингу.

Розглянемо фізичні основи застосування сейсмологічних методів досліджень для вирішення подібних задач. Сейсмічні впливи, джерелами якого можуть бути як землетруси, вибухи, гірські удари, обвали, і навіть транспортні засоби, зумовлюють динамічну дію на навколишнє середовище і переважно на ґрунти. Ці впливи є вимушеними механічними коливаннями часточок ґрунту, передані від об’єктів-джерел через проміжне (геологічне) середовище до різних інженерних об’єктів, для яких це середовище є основою фундаментів або вміщуючим середовищем. Якщо при цьому гірські

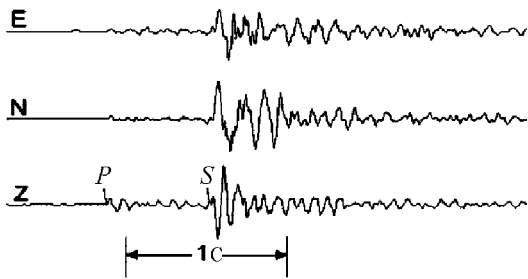


Рис. 1. Трикоординатний запис сейсмічного сигналу: E, N, Z – напрямки відповідно схід–захід, північ–південь, вертикальний)

породи є міцними і мають пружні властивості, то вони здатні передавати хвилі (вібрацію) від джерела до об'єкта, самі не зазнаючи помітних змін. Якщо ж об'єктом первинного (з боку джерела) сейсмічного впливу виявляються відносно слабкі дисперсні ґрунти, то можливі незворотні зміни їхньої структури і як наслідок цього – об'ємні зміни товщі порід і деформації побудованих на ній будинків і споруд.

Сейсмічні хвилі є пружними коливаннями, а швидкість їх поширення характеризує ступінь пружності транзитного середовища. Тиск, що поширюється від підземного вибуху або землетрусу, розриває оточуючий матеріал Землі, піддаючи його напруженню (стиску, розтягу і/або зсуву). Як результат дії напруження – зміна об'єму і/або спотворення форми. Ці зміни можуть бути записані за допомогою сейсмічних датчиків.

Як правило, під час сейсмічної події виникають два незалежні типи об'ємних хвиль, а саме поздовжніх (стиско-делатаційних) *P*-хвиль і поперечних (зсувних) *S*-хвиль. *P*-хвилі (первинні) поширюються швидше, ніж *S*-хвилі (вторинні) і, отже, приходять першими у сейсмічних записах (рис. 1).

Оскільки швидкості поширення *P*- і *S*-хвиль є постійними для середовища з однаковими пружними параметрами, існує можливість розрахувати відстань між точкою виникнення сейсмічного впливу (джерела) та точкою розміщення сейсмічних датчиків. Наявність мережі сейсмічних спостережень дає можливість локалізувати джерело, а також визначити його геометричні та енергетичні параметри. Точність локалізації джерела та надійність визначення його параметрів залежить від щільності мережі.

Заповнення виробок ненасиченим розсолон зумовлює розчинення солей і призводить до втрати стійкості ціликів та стелин. Унаслідок цього процесу відбуваються певні явища, які можна класифікувати як джерела сейсмічних подій. В першу чергу – це виникнення струсів, спричинене падінням обваленої породи зі стелин, та відколювання її зі стінок ціликів, яке може відбуватись як на сухе дно, так і у воду, яка поступово заповнює дно камер. Очевидно, також, що цьому процесу передуватиме виникнення потріскувань, яке характеризуватиме поширення тріщин у ціликах, а пізніше, призведе до їх руйнування від навантаження.

Питання ліквідації чи консервації відпрацьованих нерентабельних шахт і кар'єрів актуальне не лише для України, а й для інших країн – Польщі, Німеччини, яка за запасами калійної сировини займає 2-ге місце в світі (22 млрд т). Використання сейсмічного моніторингу для прогнозу аварій-

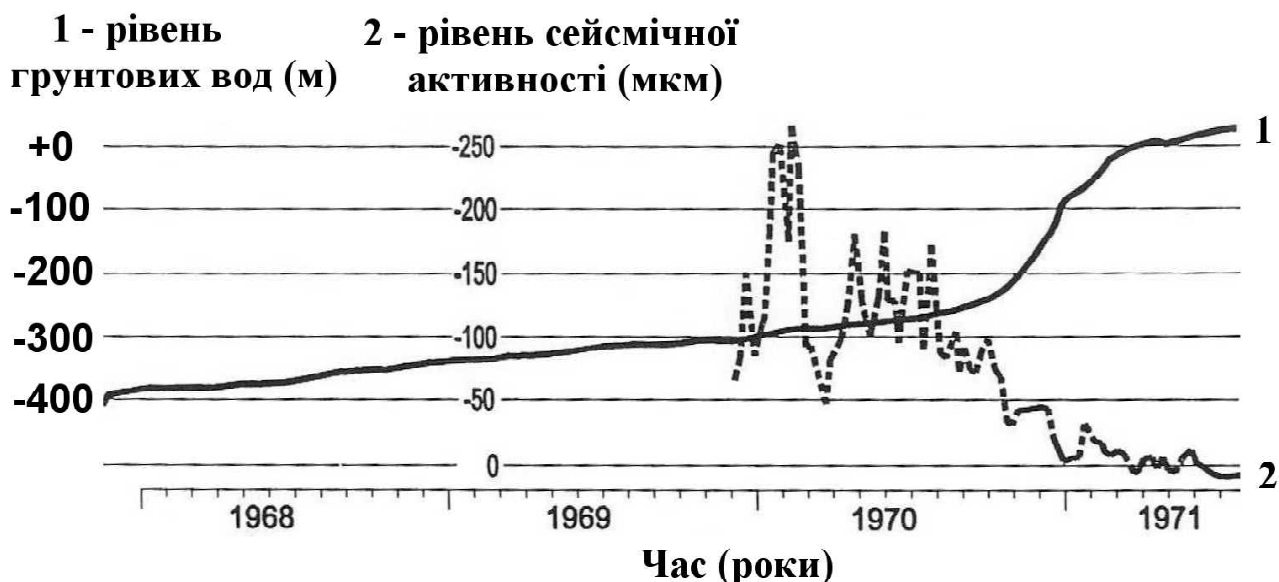


Рис. 2. Експериментальні графіки зареєстрованих сейсмічних сигналів і дані моніторингу рівня ґрунтових вод на соляній шахті у м. Бернбург (Німеччина)

них ситуацій на соляних шахтах не є новим у цій практиці. Зокрема, у публікації [2] наведено експериментальні графіки (рис. 2) зареєстрованих сейсмічних сигналів і дані моніторингу рівня ґрунтових вод на соляній шахті у м. Бернбург (Німеччина).

Як видно з рис. 2, значне зростання сейсмічної активності відбувалося приблизно за рік до відносно різкого підвищення рівня ґрунтових вод. Цей процес можна пояснити як активізацію руйнування стелин і ціликів. Очевидно, що дані сейсмічного моніторингу можна враховувати у прогнозі аварійних явищ у соляних шахтах.

У відділі сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна (ІГ) НАН України напрацьовано певний досвід у проектуванні та організації сейсмічного моніторингу важливих та екологічно небезпечних об'єктів, проведенні інженерно-сейсмологічних досліджень. Як приклади, нижче наводимо результати деяких робіт виконаних у цій галузі.

Завершується проектування системи сейсмічних спостережень для здійснення моніторингу місцевої сейсмічності та контролю за небезпечними геодинамічними явищами Дністровської ГАЕС. Потреба організації сейсмічного моніторингу в цьому випадку пов'язана з тим, що проммайданчик станції розташований поблизу вузла перетину регіональних розломів, а функціонування гідроенергокомплексу може спровокувати перерозподіл тектонічних напружень по розломних зонах і зумовити локальні місцеві землетруси з магнітудою $M \geq 4.0$. Для контролю за сейсмічною ситуацією в районі гідровузла потрібно розгорнути локальну мережу сейсмічних станцій (пунктів спостережень). Кількість станцій для впевненої реєстрації і обробки матеріалів, має бути не менше п'яти [3].

Конфігурація мережі і місце розташування станцій визначені на основі аналізу тектонічної будови досліджуваної території, просторового розміщення розривних порушень щодо основних споруд і будівель гідроенергокомплексу, виходу корінних порід на поверхню. Під час проектування брали до уваги наявність під'їздних шляхів, можливість виконання будівельних робіт, організації зв'язку, охорони, наявність джерел електроенергії.

У період, протягом якого буде розгорнуто та налагоджено систему сейсмічних спостережень, режимні спостереження на пункті “Новодністрівськ” проводитимуть за допомогою цифрового автоматичного сейсмографа DAS-04, розробленого і виготовленого в ІГ НАН України. В моніторинговій схемі використано розроблене в інституті програмне забезпечення та адаптовану систему збору сейсмологічної інформації [4].

Кілька років тому в ІГ НАН України було завершено проект системи сейсмічного моніторингу Ташликської ГАЕС, у 2006 р. розпочалися роботи з його реалізації. Територія промайданчика об'єкта знаходиться поблизу сейсмічноактивного Середземноморського поясу альпійської складчатості. Сейсмічна небезпека цієї території визначається місцевими землетрусами, які відбуваються на території регіону і в прилеглих територіях, а також сильними глибокофокусними землетрусами сейсмоактивної зони Вранча.

Є дуже велика ймовірність того, що функціонування Південноукраїнського гідроенергокомплексу може стати “пусковим механізмом” локальних землетрусів, які відчуватимуться як на промайданчику гідроакмулювальної електростанції, так і на прилеглих територіях. Тому для контролю за сейсмічною ситуацією та оцінки сейсмічної небезпеки в районі гідровузла необхідно розгорнути локальну мережу сейсмічного моніторингу.

Сейсмічні спостереження мають наукову та прикладну цінність лише тоді, коли вони носять характер неперервного ряду. Тому поки не розгорнута повномасштабна система сейсмічного моніторингу, потрібно забезпечити функціонування одного або кількох тимчасових пунктів сейсмічних спостережень [5]. Сейсмічні спостереження в районі будівництва Ташликської ГАЕС були розпочаті 21 червня 2006 р.

З досвіду проведення відділом інженерних сейсмологічних досліджень як приклади можна навести роботи з визначення техногенних впливів у районі будівництва адміністративного корпусу (вул. Пастернака, 5, м. Львів) та локалізації джерела вібрацій будинків житлового масиву (вул. Хуторівка, 30–32, м. Львів).

У першому випадку інструментальні сейсмологічні обстеження адміністративного будинку проводили з метою встановлення причин і параметрів підвищених сейсмічних вібрацій, що спостерігаються у ньому.

Для досягнення мети виконувалися такі роботи на досліджуваній території:

- рекогносцирування;
- пробні заміри рівня техногенних впливів;
- режимні цифрові високоточні сейсмічні спостереження;
- обробку та інтерпретацію результатів.

У результаті проведених інженерно-сейсмологічних досліджень було встановлено типи сейсмічних впливів, локалізовано їх епіцентри, визначено максимальні амплітуди переміщень, швидкостей та прискорень, періоди переважних коливань та їх поляризаційні властивості. Матеріали спостережень і результати їх обробки, передані фахівцям-будівельникам, лягли в основу інженерних рішень стосовно реконструкції згаданого адміністративного будинку.

Необхідність проведення обстежень будинків № 30, 32 по вул. Хуторівка в м. Львові для встановлення параметрів та причин підвищених сейсмічних коливань, що спостерігалися в них, була спричинена скаргами мешканців на те, що протягом кількох років у їхніх квартирах постійно спостерігається вібрація підлоги та стін, погойдуються висячі предмети (занавіски, люстри тощо). Внаслідок тривалих додаткових навантажень коливного характеру можуть відбуватися деструктивні зміни в будівельних конструкціях та ґрунтах в основі будівель, що здатні спричинити аварійні ситуації або навіть руйнування, тому були підстави вважати, що коливання можуть бути небезпечними. У зв'язку із цим необхідно було отримати об'єктивні дані щодо характеру коливань на ґрунті в основі будинку та на різних його поверхах, що потрібно для перевірки надійності будинків. Ці дані необхідні були також для вирішення питання про можливу небезпеку вказаних коливань для здоров'я мешканців.

На основі одержаних результатів локалізовано джерело вібрації – компресорна станція на розташованому неподалік хімічному заводі. За рекомендацією був проведений ремонт систем амортизації обладнання, після якого вібрація у житлових будинках припинилася.

Враховуючи існуючі у світі напрями вирішення питань з ліквідації чи консервації соляних шахт, напрацювання у відділі сейсмічності Карпатського регіону ІГ НАН України в галузі проектування і організації систем сейсмічного спостереження [6] і моніторингу важливих та екологічно небезпечних об'єктів [7], а також виконання інженерно-сейсмологічних досліджень, був запропонований план виконання робіт зі створення системи сейсмічного моніторингу в районі Стебницького калійного комбінату, орієнтовні терміни та вартість виконання проектних, налагоджувальних, будівельно-монтажних робіт, а також вартість обладнання та експлуатаційних витрат.

1-й етап реалізації плану передбачає розробку проекту системи сейсмічного моніторингу. Для цього насамперед потрібно проаналізувати геолого-геофізичну та інженерно-технічну інформацію щодо району досліджень, провести рекогносцирувальні роботи та пробну реєстрацію мікро-

сейсмічних шумів. Потрібно розробити топологію моніторингового полігону, підібрати необхідні апаратно-програмні засоби, розробити типові проекти пунктів сейсмічних спостережень та інженерних комунікацій.

2-й етап – розгортання системи сейсмічного моніторингу, який охоплює облаштування тимчасових пунктів сейсмічних спостережень (ПСС), комплектування апаратно-програмного комплексу, його встановлення та налагодження. Після тестування та пробної реєстрації сейсмічних сигналів – ввід системи в експлуатацію.

3-й етап – експлуатація системи сейсмічного моніторингу, яка передбачає проведення режимних спостережень, збір цифрової інформації, її обробку та інтерпретацію результатів. У програму робіт також входить проведення необхідних профілактичних, регламентних та ремонтних робіт.

Реалізація плану розробки системи сейсмічного моніторингу, її налагодження, проведення спостережень та інтерпретація результатів дадуть можливість прогнозувати небезпечні геодинамічні явища у соляних шахтах Стебницького родовища.

1. Наукове забезпечення та участь в розробці проектів консервації та ліквідації гірничо-хімічних підприємств: Наук.-техн. звіт Від-ня гірн.- хім. сировини Академії гірн. наук України. – Львів. – 2003. – Ч. 2. – 88 с.
2. Thoma H., Seifert G., Kuehn F. Examples of development of sinkholes above flooding or flooded salt mines in Central Germany and ways of remote detection of areas with a potential risk of fall // Fall 2000 Meeting, 15–18 oct., 2000, San Antonio. – Texas, USA, 2000.
3. Вербицький С.Т., Сапужак І.Я., Стасюк А.Ф., Вербицький Ю.Т. Проектування системи сейсмічного моніторингу для дослідження геодинамічної активності в районі будівництва Дністровської ГАЕС // Будівництво в сейсмічних районах України. Міжвід. наук.-техн. зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2006. – Вип. 64. – С. 416–421.
4. Вербицький С.Т., Сапужак І.Я., Стасюк А.Ф., Вербицький Ю.Т. Апаратно-програмний комплекс DAS-04 для моніторингу небезпечних геодинамічних процесів та природних явищ // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: Матеріали: Всеукр. наук. конф. 21–24 верес. 2006 р. – К.: Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка, 2006. – С. 159–161.
5. Вербицький С.Т., Сапужак І.Я., Стасюк А.Ф., Вербицький Ю.Т. Проведення тимчасових сейсмічних спостережень в районі Ташликської ГАЕС // Нові геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища: Матеріали наук. конф. до 75-річчя від дня нар. проф. Я.С. Сапужака. – Львів: КВ ІГВ НАН України, 2006. – С. 43–44.
6. Вербицький С.Т., Сапужак І.Я., Стасюк А.Ф., Вербицький Ю.Т. Карпатская сейсмологическая сеть Украины // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения. Материалы XII Междунар. конф., Воронеж, 18–23 сент. 2006 г. – Воронеж, 2006. – Т. 1 (А-М). – С. 111–115.
7. Вербицький С.Т., Сапужак І.Я., Стасюк А.Ф., Вербицький Ю.Т. Система збору інформації для моніторингу небезпечних геодинамічних процесів та природних явищ // Подтопление-2006. Неотложные проблемы предотвращения и борьбы с региональным подтоплением земель: Материалы 4-й научно-практ. конф. 15–19 мая 2006 г. – Славянск, 2006. – С. 37–41.