

АДАПТИВНИЙ СЕЙСМІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОФІЗИКИ

Д.М. Гринь¹, С.Т. Вербицький², О.В. Дмитренко¹

¹Інститут геофізики НАН України ім. С.І. Субботіна, просп. Паладіна, 32, м. Київ, 03680; email: dgrin@i.ua.

²Інститут геофізики НАН України ім. С.І. Субботіна, Відділ сейсмічності Карпатського регіону, вул. Ярославенка, 27, м. Львів, 79000.

Вивчення фізичних полів є одним з пріоритетних напрямів наук про Землю. Спостереження за фізичним полем та визначення його кількісних параметрів можливе лише за умови наявності сучасного цифрового обладнання, створення якого — найраціональніший шлях до сталого розвитку науки і можливості впровадження та модернізації розробок. У результаті створення сейсмічного обладнання розроблено адаптивний сейсмічний комплекс універсального типу, який складається з адаптивного електричного джерела, інтелектуальної системи керування джерелом, автономних трикомпонентних сейсмостанцій та програмного комплексу з обробки отриманих сейсмічних даних. Під універсальністю розуміється можливість використання створеного сейсмічного обладнання для вирішення максимально широкого спектра прикладних та фундаментальних завдань геофізики. Для підвищення якості сейсмічних даних інженерно-геофізичних вишукувань і швидкості проведення робіт застосовують адаптивну технологію. Вона полягає у підборі найоптимальнішого СВІП-сигналу (синусоїда зі змінною частотою у часі) для джерела сейсмічних хвиль на кожній точці збудження. У СВІП-сигналі підсилюють амплітуди тих коливань, які найінтенсивніше поглинаються у приповерхневій частині геологічного розрізу. У такий спосіб можна отримати однаковий спектральний склад хвильового поля на всьому профілі незалежно від локальних приповерхневих геологічних умов збудження сейсмічних хвиль. Універсальні сейсмічні станції, які записують сейсмічні дані, мають невеликі розміри та масу, високу частоту дискретизації аналогового сигналу, велику оперативну пам'ять, безпроводний зв'язок WiFi та радіоканал — для контролю за якістю сейсмічних даних в момент їх запису, систему точного часу та визначення координат положення GPS. Використання цих сейсмостанцій можливе для вирішення багатьох прикладних і фундаментальних завдань сейсміки.

Проведено лабораторні дослідження та польові випробування комплексу у співпраці з ДГП «Укргеофізика». Сейсмокомплекс є енергетично економним, ефективним і відповідає світовим зразкам.

Ключові слова: спектр відношення сигнал-завада, адаптивні дослідження, адаптивний сейсмокомплекс, резонансне сейсmodжерело, сейсмостанція.

Вступ. Верхня частина геологічного середовища потребує вивчення, оскільки з цим середовищем пов'язані діяльність та життя людей. На жаль, потенційна небезпека, яка зароджується на глибині, не завжди є очевидною на поверхні. Під впливом постійних геодинамічних процесів, антропогенного впливу на навколишнє середовище, метеорологічних чинників змінюються фізичні властивості порід, що з часом може призвести до появи небезпечних підземних утворень. Ці неконтрольовані і непрогнозовані процеси та їх наслідки можна виявити в результаті проведення пошукових робіт з допомогою адаптивного сейсмокомплексу для інженерних досліджень (далі — сейсмокомплекс). Проведення площинних робіт надає можливість установити поширення небезпечних процесів у тривимірному просторі. Повторення пошукових робіт на певній ділянці через деякий проміжок часу дає змогу відслідковувати розвиток небезпечних підземних явищ у часі.

Використання сейсмокомплексу можливе для вирішення багатьох задач. Умовно їх можна розділити на дві групи: а) визначення фізичних властивостей геологічного середовища для вирішення

завдань, окреслених Держаними будівельними нормами (ДБН); б) вивчення при геологічній будові поверхневих структур, а саме:

- встановлення наявності, форми та глибини залягання підземних історичних об'єктів неруйнівним методом, у заповідній зоні;

- сейсморайонування та сейсмомоніторинг з виділенням зон активних порушень і локальних рухомих геологічних блоків (газо- та нафтопроводів, аміакопроводів, залізниць);

- розв'язання екологічних проблем, зокрема виявлення зон підземного проникнення у поверхневі води забрудненої води з відстійників гірничо-збагачувальних комбінатів;

- моніторинг стану дамб і прилеглих територій;

- пошук карстових пустот, катакомб і залишених шахт під промисловими та житловими об'єктами;

- локалізація територій зі зсувними явищами.

Сейсмокомплекс, крім застосування за призначенням, має важливе науково-дослідне значення як прототип потужних адаптивних сейсмокомплексів для сейсморозвідки на корисні копалини та вирішення задач з вивчення глибинної будови Землі.

Адаптивний сейсмічний комплекс. Стандартні сейсмічні комплекси складаються із сейсмічних датчиків поздовжніх і поперечних (інколи тільки поперечних) хвиль, які об'єднані в косу та з'єднані з аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) [14]. АЦП перетворює електричний сигнал на масив цифр з певною дискретністю за часом. Як накопичувач інформації використовують багатоканальну сейсмостанцію, або ноутбук. Сейсмічні коливання генеруються, як правило, ударом кувалди по металевій плиті, в яку вмонтовано датчик для фіксації точного часу удару. В польових умовах проводять попередній аналіз сейсмічних даних і приймають рішення щодо продовження робіт або їх завершення. Основна обробка сейсмічних даних відбувається в камеральних умовах, з використанням спеціалізованого програмного забезпечення. З його допомогою на першому етапі видаляють хвилі-завади із сейсмічного поля, вводять поправки за рельєф, виконують інші процедури, що поліпшують просторову та часову роздільну здатність.

Прикладами такого сейсмокомплексу можуть бути іноземні 24—78-канальні станції: SUMMIT II Compact, MAE X610 Seismograph, Geode Exploration Seismograph, RAS-24 Exploration Seismograph та ін. Для розв'язання інженерно геофізичних за-

дач така конструкція є оптимальною, але водночас вона суттєво звужує можливі альтернативні варіанти використання цього обладнання, яке стає вузько-профільним.

Сейсмічний комплекс складається з об'єднаних кабелем сейсмодатчиків, сейсмічного джерела, АЦП і комп'ютера (рис. 1, а). Адаптивний сейсмічний комплекс (рис. 1, б) відрізняється від стандартного комплексу наявністю автономних пунктів збору сейсмічної інформації (універсальні трикомпонентні сейсмічні станції), адаптивним джерелом сейсмічних хвиль із системою коригування форми генерованого сигналу у реальному часі.

Адаптивна технологія і методика проведення сейсмічних робіт. Основна ідея сейсмічних вишукувальних робіт полягає у використанні адаптивної технології сейсмічних досліджень. Технологічною одиницею сейсмічних спостережень є фізичне спостереження — сукупність технічних, технологічних і методичних засобів отримання сейсмограм за незмінного просторового розташування сейсмоджерел і сейсмодатчиків. Повний цикл адаптивного відпрацювання таких спостережень завершується обробленням спостережених сейсмограм, тобто отриманням максимально якісного сейсмічного матеріалу в польових умовах.

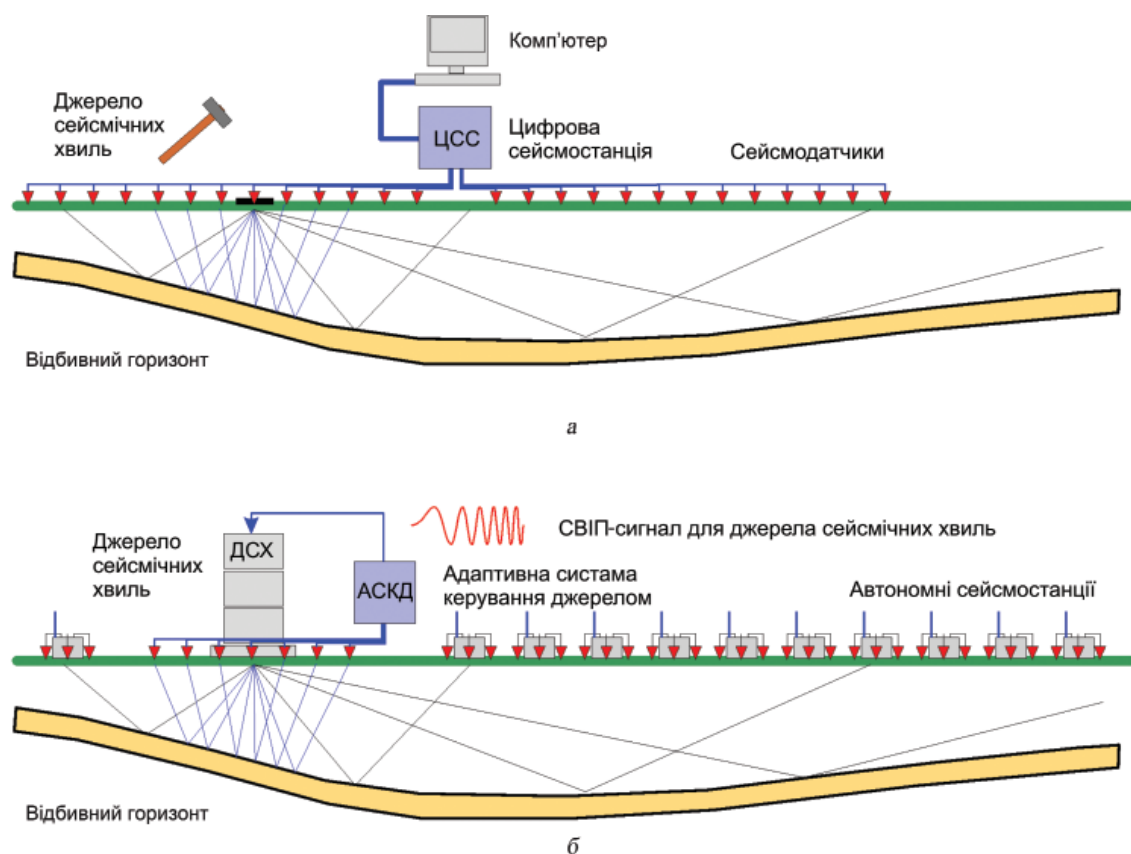


Рис. 1. Схема стандартного сейсмічного комплексу (а) і розробленого в Інституті геофізики НАН України адаптивного сейсмокомплексу (б)

Fig. 1. Scheme of a standard seismic complex (a) and an adaptive seismic complex developed at the Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine (b)

Інструментом здійснення адаптивних сейсмічних досліджень є адаптивні сейсмокомплекси [8]. Адаптивний сейсмокомплекс має традиційний для сейсмокомплексів склад засобів спостереження за сейсмічним хвильовим полем. Відмінною є тільки система керування сейсмокомплексом, яка має забезпечувати одночасну незалежну роботу сейсморізджерел і сейсмокомплексів та підготовку даних і виконання алгоритму адаптивного відпрацювання фізичних спостережень.

Складовими елементами адаптивного сейсмокомплексу є дослідний зразок резонансного сейсморізджерела вертикальної дії для збудження поздовжніх хвиль і поперечних хвиль вертикальної поляризації; автономні триканальні цифрові сейсмостанції; комп'ютеризована система керування сейсмокомплексом; програмне забезпечення виконання управлінських операцій, формування зондувальних сигналів складної форми і оброблення спостережених сейсмограм (рис. 2).

Гранично ефективними є адаптивні дослідження, які ґрунтуються на використанні спектрів відношення сигнал-завада. Спектри відношення сигнал-завада є показником якості досліджень і критерієм функціонування адаптивних сейсмокомплексів. Спектр відношення сигнал-завада визначають як невід'ємну функцію частоти, значеннями якої для кожного значення частоти є відношення відповідних значень модулів спектрів цільового сигналу і завади. В енергетичній формі спектр відношення сигнал-завада визначають як відношення квадратів значень модулів спектрів цільового сигналу і завади [10, 1].

Використання спектрів відношення сигнал-завада є завершальною стадією технологічного розвитку сейсмічних досліджень. У подальшому удосконаленні технічних і технологічних засобів неодмінно адаптивних сейсмічних досліджень у відповідності до досягнень науки і техніки оновлюватиметься лише їх технічне оснащення. Технологія адаптивних сейсмічних досліджень з використанням спектрів відношення сигнал-завада набуває вичерпної повноти і залишатиметься незмінною [9].

Використання адаптивної технології проведення сейсмічних робіт забезпечує економію часу проведення сейсмічних робіт, високу енергоефективність роботи сейсмокомплексу та максимально якісний сейсмічний матеріал по завершенні польових робіт.

Джерело сейсмічних хвиль. Найпростіше і найпоширеніше джерело сейсмічних хвиль для інженерної геофізики — кувалда масою до 10 кг. Такої маси достатньо, щоб згенерувати сейсмічну хвилю, яку сейсмостанції зареєструють (у сейсмічно тихому місці) на відстані до 250 м. Як джерело інколи використовують закопані на невелику глибину петарди або вогнепальну зброю, наприклад рушницю. Прогресивніші методи застосування ґрунтових трамбівок, перфораторів з елементами зміни частоти генерування сейсмічних хвиль. Певної популярності набули джерела «арбалетного» типу, де ударний стрижень рухається за рахунок розтискання пружин. Останнім часом, з'являються імпульсні електромеханічні джерела різної потужності, що конструктивно є аналогом котушки індуктивності і стрижня, який рухається з прискоренням під дією

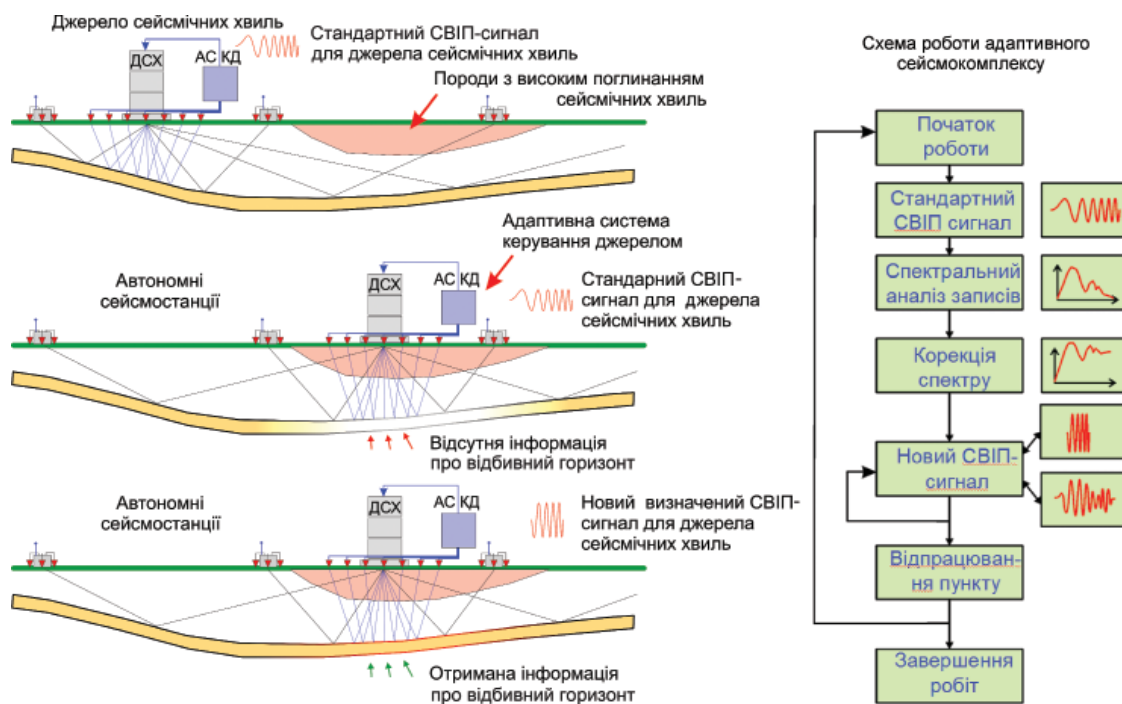


Рис. 2. Схематичне зображення роботи адаптивної сейсмічної станції у польових умовах

Fig. 2. Schematic representation of the adaptive seismic station in the field

електромагнітного поля. Розроблено малогабаритні зразки гідравлічних імпульсних джерел, але для їхньої роботи потрібні високий тиск і компресор. Однак усі перелічені джерела мають свої недоліки. Наприклад, використовуючи кувалду, важко отримати енергетично однакові удари, на застосування хімічної вибухівки необхідні спеціальні дозволи. Джерела ударного типу генерують сигнали, спектр яких знаходиться в межах від нуля до безмежності. Високочастотна компонента в ґрунті швидко згасає, для її підсилення необхідні численні додаткові генерування сейсмічної хвилі. Втім найбільший недолік — вони не можуть генерувати складні за формою сейсмічні сигнали з однаковою часовою затримкою. Саме від роботи джерела сейсмічних хвиль залежить якість польових сейсмічних даних.

На рис. 3 показано зразок резонансного сейсмоджерела вертикальної дії. Механічна коливальна система складається з коливного якоря, з'єднаного з її корпусом пружними пластинами. У верхній частині якоря розміщений постійний магніт системи розгойдування, у нижній — пакет короткозамкнутих кілець системи гальмування. У верхній частині внутрішньої поверхні корпусу встановлена жорстко з'єднана з ним обмотка системи розгойдування, розміщена в зоні ефективної взаємодії магнітного поля струму в ній і магніту якоря. У нижній частині внутрішнього простору корпусу з можливістю зміщення відносно нього та якоря встановлена обмотка системи гальмування, розміщена в зоні ефективної взаємодії магнітного поля струму в ній і магнітного поля струмів, наведених ним у короткозамкнутих кільцях якоря [6]. Проміжки між коливною масою і внутрішніми поверхнями обмоток розгойдування і гальмування витримані з дотриманням вимог ефективної взаємодії магнітних полів рухомої й нерухомої частин секції та відсутності тертя між ними. Обмотка гальмування встановлена з можливістю ковзання зовнішньої поверхні її каркаса по внутрішній поверхні корпусу.

З каркасом обмотки гальмування жорстко з'єднані верхні кінці стрижнів, нижні кінці яких жорстко з'єднані з хрестовиною, яка виконує роль випромінювальної плити сейсмоджерела.

Гантель масою 32 кг виконує роль притискного механізму випромінювальної плити до ґрунту. У рухомих потужних сейсмоджерелах у ролі притискного вантажу використовують масу транспортного засобу.

Для збудження зондувальних сигналів перед поданням напруги на обмотки розгойдування активізують коливальну систему джерела. Під дією фрагментів електричного аналога зондувального сигналу в обмотках гальмування виникає індукована відповідним струмом у них електрорушійна сила. Сила гальмування передається на досліджуваний об'єкт у вигляді зондувального сигналу.

Тактована частотою розгойдування циклічна черговість активізації секцій здійснюється протягом тривалості збудження зондувального сигналу. Формування необхідних сигналів тактування та активізації секцій виконується системою керування сейсмоджерела, з виходом якої електрично з'єднані обмотки систем гальмування секцій. Фрагменти силового впливу секцій інтегруються активною частиною сейсмоджерела, викликані їх спільною дією на коливання його випромінювальної плити і поширюються в середовище у вигляді зондувального сигналу. Форма зондувальних сигналів (імпульсна, поліімпульсна, вібраційна) визначається формою їх заданих електричних копій, генерованих системою керування сейсмоджерела.

Після проходження СВІП-сигналу, згенерованого резонансним джерелом через геологічне середовище, змінюється його спектральний склад (рис. 3, б, в). Це відбувається внаслідок впливу на сигнал багатьох геологічних чинників, зокрема поглинання, геологічної будови, водонасичення та інше.

Детальнішу інформацію про різні типи резонансних джерел подано у декількох авторських публікаціях [10] і патентах [13, 12].

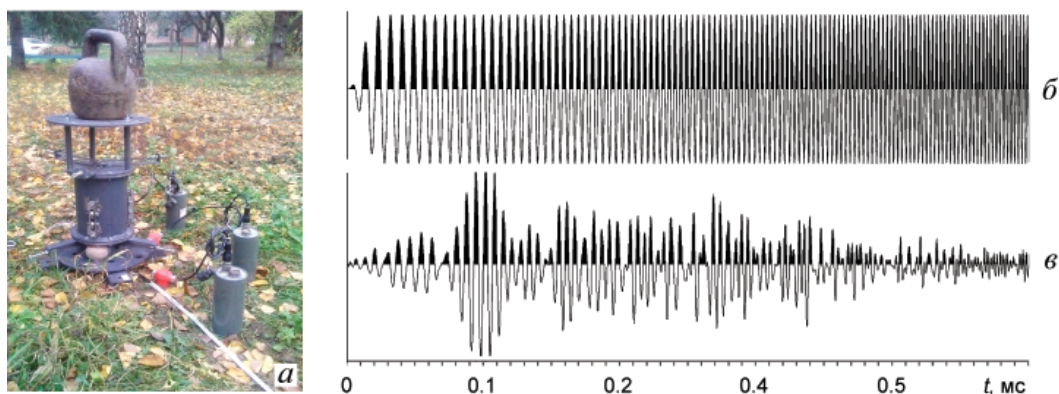


Рис. 3. Резонансне джерело вертикальної дії: а — тестування сейсмічних хвиль: б — СВІП-сигнал, згенерований джерелом; в — СВІП-сигнал, записаний на відстані 25 м від джерела

Fig. 3. Testing of a resonant source of seismic waves (a), the signal is generated by the source (b), the signal is recorded at a distance of 25 meters from the source (v)

Система управління джерелом. Система управління сейсмічним джерелом складається з блока керування і блока живлення. Реалізація блока живлення передбачає використання змінного струму 220 В, або пакета акумуляторів постійного струму по 12 В. Блок управління формує електричні сигнали змінного струму. Перший — синусоподібний від +12 до -12 В, другий — меандр зі СВП-сигналу. У зв'язку з можливою зміною температури змінюється резонансна частота котушки розгойдування, тому передбачено додаткові перемикачі точнішого налаштування резонансу.

Універсальні сейсмічні станції. З урахуванням багатьох новітніх технологій, які останнім часом з'явилися в мікроелектроніці, доцільність створення сейсмокомплексів з 24-канальною (або більше) сейсмостанцією видається недоречним. Тому автори розробляли універсальні цифрові сейсмічні станції автономного типу, з потрібної кількості яких складається сейсмокомплекс (див. рис. 1). Використання автономних сейсмостанцій полегшує формування вишукувальних профілів у містах, залізничних переїздах, пересіченій та заболоченій місцевості.

У створених сейсмостанціях реалізовано багато технічних рішень, тому процес вишукувальних робіт стає високотехнологічним та якіснішим.

Розмір сейсмічної станції — 8,5×8,5×13 см, маса — 750 г, ємність акумуляторів — 1,2 А (на 10 днів безперервної роботи). Використовують 24-бітний АЦП, частота дискретизації — 4000 Гц на кожному

з трьох каналів. Оперативна пам'ять — 8—128 Гб. До станцій є доступ по бездротових каналах зв'язку — WiFi та радіоканалу. Кожна станція має власний IP адрес, що дає змогу формувати мережу з активних станцій і отримувати доступ до них на відстані до 50 м у разі використання WiFi-зв'язку і до 1 км через радіоканал. Доступ до станцій забезпечує контроль за її роботою та важливою інформацією про її технічний стан, зокрема залишок оперативної пам'яті, електроенергії, температури процесора. Можливий перегляд записаних цифрових даних станцією в реальному часі та оцінювання якості записаного сейсмічного матеріалу. Також можна вносити зміни у режими включення чи виключення (режим сон—пробудження) сейсмостанції (або вибраної групи сейсмостанцій).

Через кожні 10 хв сейсмостанція фіксує час та координати за супутниковою системою GPS. Часові поправки у безперервні записи завдовжки в 1—2 тижні вносять у сейсмограму в камеральних умовах. У разі підключення додаткового зовнішнього живлення система контролю за енергозабезпеченням станції автоматично відключає внутрішні акумулятори (переводить їх у режим заряджання).

В цілому, ці сейсмостанції розроблено для вирішення не тільки прикладних інженерно-геофізичних завдань, а й для розв'язання фундаментальних задач геофізики з вивчення глибинної будови Землі, сейсмічного моніторингу, довгострокових пасивних сейсмологічних спостережень.

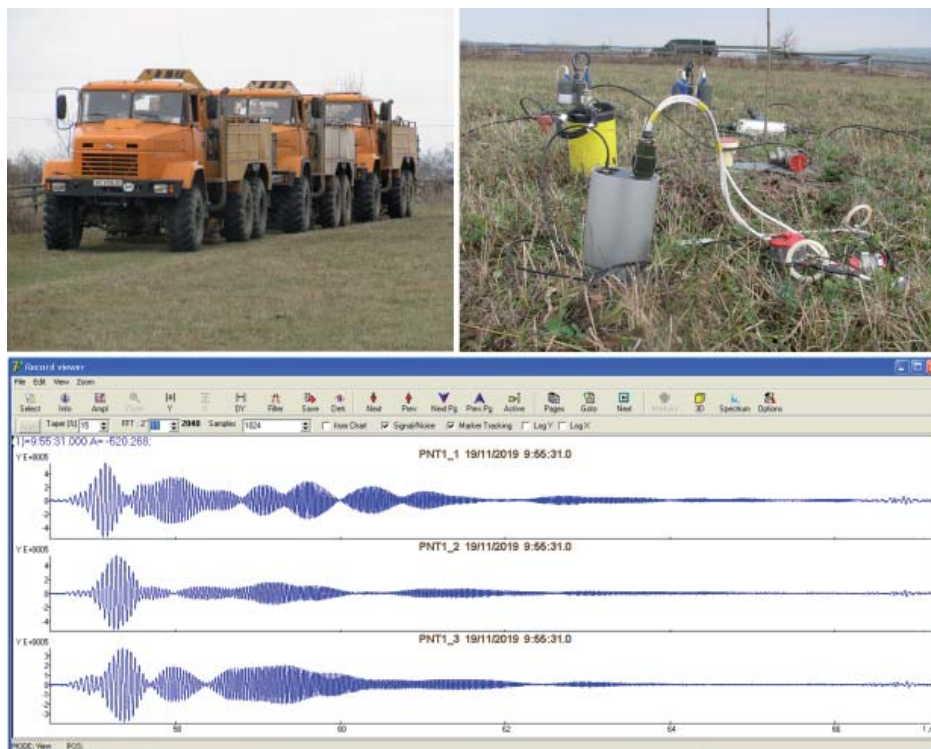


Рис. 4. Тестування групи сейсмостанцій SV-1, SV-2, SV-3.1 і трикомпонентні записи сейсмічної станції SV-3.1 (на передньому плані)

Fig. 4. Testing a group of seismic stations SV-1, SV-2, SV-3.1 and three-component recording of seismic waves

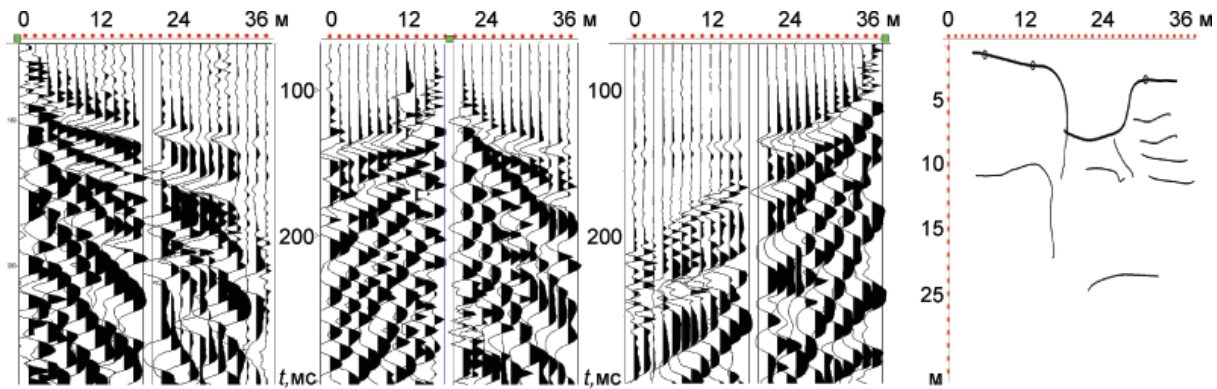


Рис. 5. Хвильові поля поперечних сейсмічних хвиль, отримані в околі м. Східниця, та побудований геологічний розріз за сейсмічними даними

Fig. 5. Wave fields of shared seismic waves. They were obtained near Skhidnytsia and a geological section was constructed using this data

Детальніше інформацію про українські сейсмостанції серії SV та іноземні аналоги подано у статті [5].

Польові випробування створених прототипів сейсмічного обладнання відбувались у Чернігівській області на Шостаківській нафтогазовій площі у 2017–2018 р. та в Чернівецькій області на Красноільській площі у 2019 р. (рис. 4). Як еталон використовували сейсмічне обладнання ДП «Укргеофізика», зокрема Полтавської і Західноукраїнської геофізичних експедицій, та автономні одноканальні станції Техап-125 А (США).

Технологія проведення вишукувальних робіт з використанням складових сейсмокомплексу відпрацьована в різних кутках України і на багатьох відповідальних об'єктах — газорозподільних станціях, дамбах ГЕС та ГАЕС, ТЕС, великих об'єктах соціальної сфери [7, 11]. На рис. 5 показано приклад детального сейсмічного вивчення зони розлому та контакту аргілітів палеогену і пісковиків неогену в Карпатах (рис. 5).

У статті описано обладнання, що створено у результаті виконання науково-технічних (інноваційних) програм Національної академії наук України у 2017 — 2019 р.

Автори висловлюють подяку за підтримку та всебічну допомогу у розвитку новітніх геофізичних технологій в Україні заступнику генерального директора ДГП «Укргеофізика» Толкунову Анатолію Петровичу.

Висновки. Створено резонансний сейсмічний комплекс для вирішення прикладних задач геофізики: вивчення будови верхньої частини геологічного розрізу; вирішення питань, пов'язаних з екологією, археологією, будівництвом житлових, громадських та промислових споруд. Застосування сейсмокомплексу можливе для сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків, нафто-, газопроводів, гідроакумуляційних станцій та інших стратегічних об'єктів для економіки держави. За допомогою сейсмокомплексу можна вивчати геологічну будову та фізичні властивості ґрунтів під важливими під-

приємствами (або в їх околі). Сейсмокомплекс складається з електричного джерела сейсмічних хвиль, блока керування джерелом, автономних сейсмічних станцій універсального типу. Паралельно із створенням зразків сейсмічного обладнання ведеться розробка програмного забезпечення розв'язання обернених задач геофізики [2–4] для інтерпретації польових сейсмічних даних.

Список бібліографічних посилань

1. Адаптивний спосіб сейсморозвідки: пат 116903 Україна. № u201612814; заявл. 16.12.2016; опубл. 12.06.2017, бюл. № 11/2017.
2. Гринь Д.М. Автоматизований спосіб визначення неузгодженого залягання геологічних горизонтів за тривимірними сейсмічними даними. *Геофизический журнал*. 2019. Т. 41. № 6. С. 175–190.
3. Гринь Д.М. Логарифмічні декременти та інші функції згасання сейсмічних хвиль. *Геофизический журнал*. 2001. Т. 23. № 4. С. 91–102.
4. Гринь Д. М. Методика визначення просторового поширення малоамплітудних розломів і тріщин у тонкошаруватому вуглевмісному геологічному середовищі. *Геофизический журнал*. 2019. Т. 41, № 5. С. 195–216.
5. Гринь Д.М., Вербицький С.Т. Автономні цифрові сейсмічні станції SV. *Геофизический журнал*. 2019. Т. 41, № 4. С. 124–144.
6. Копылов И.П. Электрические машины. Москва: Энергоатомиздат, 1986. — 380 с.
7. Лісовий Ю.В., Гринь Д.М., Семенова Ю.В., Вербицька О.С. Сейсмічна небезпека будівельного майданчика по бульвару Дружби народів, 2 в м. Києві. *Матеріали III Міжнародної наукової конференції «Актуальні проблеми геосередовища і зонduючих систем»*. Київ, 2017. С. 34.
8. Роман В.І. Спектри відношення сигнал-завада адаптивних геофізичних досліджень. *Геофизический журнал*. 2013. Т. 36, № 2. С. 186–190.
9. Роман В.І., Шпортюк Г.А., Гринь Д.М., Мукоєд Н.І. Адаптивні сейсмічні дослідження: моделі реєстрації сейсмічних полів. *Геофизический журнал*. 2011. Т. 33, № 6. С. 152–157.

10. Роман В.И., Закариев Ю.Ш., Рябошапко С.М. та ін. Техніко-технологічні комплекси для адаптивних сейсмічних досліджень. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*. 2015. № 1. С. 37—45.
11. Сапужак І., Вербицький С., Гринь Д., Когут О. Сейсмічне мікрорайонування майданчика під будівництво резервуара під ЛВДС «Броди». *Геофізика і геодинаміка: прогнозування та моніторинг геологічного середовища*; під заг. ред. В.Ю. Максимчука: зб. наук. праць. Львів: Растр-7, 2019. С. 172—174.
12. Спосіб збудження сейсмічних хвиль: пат. 116423 Україна. № а201613407; заявл. 27.12.2016; опубл. 12.03.2018, бюл. № 5/2018.
13. Спосіб збудження сейсмічних хвиль: пат. 119203 Україна. № а201712828; заявл. 26.12.2017; опубл. 10.05.2019, бюл. № 9/2019.
14. Череповский А.В. Сейсморазведка с одиночными приемниками и источниками: обзор современных технологий и проектирования съемок. Москва: ЕАГЕ Геомодель, 2012. 133 с.

Надійшла до редакції 12.11.2019 р.

АДАПТИВНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОФИЗИКИ

Д.Н. Гринь¹, С.Т. Вербицкий², А.В. Дмитренко¹

¹*Институт геофизики НАН Украины им. С.И.Субботина, просп. Палладина, 32, г. Киев, 03680; email: dgrin@i.ua.*

²*Институт геофизики НАН Украины им. С.И.Субботина, Отдел сейсмичности Карпатского региона, ул. Ярославенка, 27, г. Львов, 79000.*

Изучение физических полей, отображающих геологическое строение и явления, происходящие на разных глубинах — одно из приоритетных направлений наук о Земле. Наблюдение физического поля и определение его количественных и параметров возможно только при наличии современного цифрового оборудования, создание которого открывает наиболее рациональный путь к постоянному развитию науки и внедрению ее разработок. В результате создания сейсмического оборудования разработан адаптивный сейсмический комплекс универсального типа, который состоит из адаптивного электрического источника, интеллектуальной системы управления источником, автономных трикомпонентных сейсмостанций и программного комплекса по обработке полученных сейсмических данных. Под универсальностью понимается возможность использования созданного сейсмического оборудования для решения максимально широкого спектра прикладных и фундаментальных задач геофизики. Для повышения качества сейсмических данных инженерно-геофизических изысканий и скорости проведения работ используется адаптивная технология. Она заключается в подборе наиболее оптимального СВИП-сигнала (синусоиды с изменяемой во времени частотой) для источника сейсмических волн на каждой точке возбуждения. В СВИП-сигнале усиливаются амплитуды тех колебаний, которые наиболее сильно поглощаются в приповерхностной части геологического разреза. Таким образом можно получить одинаковый спектральный состав волнового поля по всему профилю, независимо от локальных приповерхностных условий возбуждения сейсмических волн. Универсальные сейсмические станции, которые записывают сейсмические данные, имеют небольшие размеры, высокую частоту дискретизации аналогового сигнала, большую оперативную память, беспроводную связь WiFi и радиоканал для контроля качества сейсмических данных в момент их записи, систему точного времени и определения координат GPS. Использование этих сейсмостанций возможно для решения многих прикладных и фундаментальных задач геофизики. Проведены лабораторные исследования и полевая апробация комплекса совместно с государственным геофизическим предприятием «Укргеофизика». Сейсмокомплекс является энергоэкономным и отвечает мировым образцам.

Ключевые слова: спектр отношения сигнал-помеха, адаптивные исследования, адаптивный сейсмокомплекс, резонансный сейсмоисточник, сейсмические станции.

ADAPTIVE SEISMIC COMPLEX FOR ENGINEERING GEOPHYSICS

D.M. Gryn¹, S.T. Verbytsky², O.V. Dmytrenko¹

¹*Institute of Geophysics, National Academy of Science of Ukraine, Palladin Ave. 32, Kyiv, 03680, Ukraine.*

²*Institute of Geophysics, National Academy of Science of Ukraine, Department of seismicity of the Carpathian region, st. Yaroslavtnka, 27, Lviv, 79000, Ukraine.*

Purpose: To create a modern adaptive seismic complex for solving problems of engineering geophysics. The article describes all the components of the seismic complex. It consists of an adaptive seismic wave source that can generate complex shape signals. The waveform is calculated at each point of generation. The signal is composed of frequencies that are strongly absorbed by the earth. Multiple generation leads to the accumulation of signals. As a result, we have high seismic resolution. The seismic control system controls the electrical source. Universal digital seismic stations

are used to record seismic information. These stations were made at the Institute of Geophysics of NAS of Ukraine. They are small in weight and size. Seismic stations have a long battery life. The sampling rate of the seismic data is 4000 Hz. Seismic information is accumulated in the seismic station and can be copied through a USB port or a wireless WiFi connection. The system of remote control over the technical condition of the station has been developed

Design/methodology/approach: Seismic stations are installed over some distance on the ground surface and the source generates complex signals. The seismic wave is reflected from geological layers and it is recorded by digital seismic stations of type SV. The seismic wave source is moved to a new point and the next seismic wave is generated.

Upon completion of the exploration work, the seismic data is transcribed from the stations. The resulting material is processed by special programs....

Findings: Adaptive seismic complex was created to solve a wide range of problems of engineering geophysics. His field tests were completed. Work methodology and software have been used in many scientific and technical projects. We can use any number of seismic stations, and as a result we have different profile lengths. The sensors can be of different polarity — three-component, horizontal or vertical. The use of three components makes it possible to divide the wave field into components. The use of polarizing filters makes it easier to determine the types of waves. They can be low frequency or high frequency. GPS systems give seismic stations the correct time and coordinates. The obtained seismic data are processed by special software.

Practical value/implications: The use of a seismic complex is possible for many tasks. Conventionally, these tasks can be divided into two groups.

The first is the determination of the physical properties of the geological environment to solve the problems outlined by the State Building Standards (DBS), the second large group is related to the need to study the surface geological structure, in particular:

The seismic complex can be used to determine the presence, shape and depth of the occurrence of underground historical sites by a non-destructive method in a protected area;

- seismic zoning and seismic monitoring with allocation of zones of active disturbances and local moving geological blocks (necessary for gas and oil pipelines, ammonia pipelines, railways);
- solution of environmental problems, in particular the detection of zones of underground penetration into the surface water of contaminated water from the reservoirs of mining and processing enterprises;
- monitoring the status of dams and surrounding areas;
- search for karst cavities, catacombs and abandoned mines under industrial and residential sites;
- localization of territory with landslides.

Keywords: spectrum of ratio signal-noise, adaptive research, adaptive seismic complex, resonance seismic source, seismic station.

References

1. Patent of Ukraine 116903, Adaptive seismic survey. Applicationa 201612814, 16/12/2016. Date of publication: 12/06/2017. Bull. 11. [in Ukrainian].
2. Gryn D.M. Automated method for determination of geological horizons nonconformity according to three-dimensional seismic data. *Geofizichesky zhurnal*, 2019, Vol. 41. N 6. P. 175—190 [in Ukrainian].
3. Gryn D.M. Logarithmic decrements and other functions of seismic wave attenuation. *Geofizichesky zhurnal*. 2011. Vol. 23, N 4. P. 91—102 [in Ukrainian].
4. Gryn D.M. Methods of determination of spatial distribution of minor-amplitude faults and fissures in thin-layered coal-bearing geological medium. *Geofizichesky zhurnal*. 2019. Vol. 41. N 5. P. 109—206 (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i5.2019.183644>
5. Gryn D.M., Verbitsky S.T. Autonomous digital seismic stations SV. *Geofizichesky zhurnal*, 2019. Vol. 41, N 4. P. 124—144 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i4.2019.177376>
6. Kopylov I.P. Electrical machinery. Moskva: Energoatomizdat, 1986. 380 p. [In Russian].
7. Lisovyi Yu.V., Gryn D.M., Semenova Yu.V., Verbitska O.S. Seismichna Nebezpeka Budivelnoho Maidanchyka Po Bulvaru Druzhby Narodiv, 2 v m. Kyievi. *Materialy III Mizhnarodnoi Naukovoї Konferentsii «Aktualnye Problemy Heosredy Y Zondyruishchykh System»*. Kyiv, 2017. P. 34. [in Ukrainian].
8. Roman V.I. The spectra of signal-to-noise ratio adaptive geophysical research. *Geophysical journal*. 2013. Vol. 36, N 2. P. 186—190 [In Ukrainian].
9. Roman V.I., Shportyk G.A., Gryn D.M., Mukojed N.I. Adaptive seismic studies: seismic field registration models. *Geofizichesky zhurnal*. 2011, Vol. 33, N 6. P. 152—157 [in Ukrainian].
10. Roman V.I., Zakariyev Y.Sh., Ryaboshapko S.M., Popkov M.V., Bogaenko S.V., Gryn D.M., Mukojed N.I. Technical-technological complexes for adaptive seismic studies. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI*. — Kyiv: UkrDHRI, 2015. № 1. P. 37—45 [In Russian].
11. Sapuzhak I., Verbitsky C., Gryn D., Kohut O. Geophysics and geodynamic: prediction and monitoring of geological medium. Lviv: Rastr-7, 2019. P. 172—174 [in Ukrainian].

12. Patent of Ukraine 116423, Method of generating seismic waves. Applicationa 201613407, 27/12/2016. Date of publication: 12/03/2018. Bull. 5. [in Ukrainian].
13. Patent of Ukraine 119203, Method of generating seismic waves. Applicationa 201712828, 26/12/2017. Date of publication: 10/05/2019. Bull. 9 [in Ukrainian].
14. Cherepovskij A.V. Seismic exploration with single receivers and sources: a review of modern technology and design surveys. — Moskov: EAGE Geomodel, 2012. 134 p. [In Russian].

Received 12/11/2019