

Ю. О. Гордієнко, А. О. Лотошко, О. О. Паплінський

**СПОСОБИ ОБРОБКИ СЕЙСМІЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ  
МОНІТОРИНГУ ІНОЗЕМНИХ ВИПРОБУВАЛЬНИХ ПОЛІГОНІВ**

*У роботі проаналізовано способи обробки вимірювальних даних сейсмічного методу спостереження, які використовуються в Міжнародній системі сейсмічного моніторингу та Головному центрі спеціального контролю Державного космічного агентства України для вирішення завдань моніторингу ядерних випробувань на іноземних випробувальних полігонах. Визначено напрямки щодо удосконалення відомих і розробки нових способів обробки вимірювальних даних сейсмічного методу виявлення в умовах наявності та відсутності апріорної інформації про форму сейсмічного сигналу. Якщо відома форма очікуваного сейсмічного сигналу то моніторинг іноземних випробувальних полігонів системою сейсмічного групування можливо реалізувати шляхом доповнення методу регульованого спрямованого прийому кореляційною схемою обробки вимірювальних даних. У разі відсутності інформації про форму сейсмічного сигналу моніторинг випробувального полігону здійснюється поділом групи на дві підгрупи з подальшим застосуванням методу крос-кореляції між вихідними вибірками кожної підгрупи. Для мережі трикомпонентних станцій, за наявності інформації про форму очікуваного сейсмічного сигналу, застосовується метод порівняння з еталонним сигналом. В умовах відсутності еталонних сигналів моніторинг реалізується із застосуванням системного дискримінанту, який враховує кінетично-динамічні властивості очікуваного сигналу з осередком із заданого району. Проаналізовано можливості застосування сейсмічних станцій Міжнародної системи сейсмічного моніторингу, використання вимірювальних даних яких для вирішення завдань спостереження іноземних полігонів дозволяє суттєво зменшити час визначення параметрів сейсмічної події. Особливістю сигналів, зареєстрованих сейсмічними станціями Міжнародної системи, є наявність типів сейсмічних хвиль, характерних для подій з осередками в ближній зоні. Реалізація моніторингу випробувальних полігонів можлива шляхом врахування поляризаційних та динамічних властивостей сейсмічних хвиль. Застосування запропонованих підходів дозволить підвищити ефективність вирішення завдань виявлення ядерних вибухів на іноземних випробувальних полігонах.*

**Ключові слова:** сейсмічний моніторинг; іноземний випробувальний полігон; система сейсмічного групування; трикомпонентна сейсмічна станція; методи обробки сейсмічних даних.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Незважаючи на мораторій щодо випробувань ядерної зброї (ЯЗ), у засобах масової інформації неодноразово з'являлися повідомлення про наміри проведення ядерних випробувань (ЯВ) окремими державами – власницями ЯЗ із метою визначення стану розвитку технології її створення. Крім того, розширюється коло держав, які впритул наблизилися до створення зразків ЯЗ. Отже, завдання контролю за ЯВ на іноземних випробувальних полігонах (ІВП) не втрачає своєї актуальності.

© Ю. О. Гордієнко, А. О. Лотошко, О. О. Паплінський, 2020

В Україні завдання контролю національними технічними засобами за дотриманням вимог міжнародних договорів про обмеження та заборону випробувань ЯЗ, а також за випробуваннями ЯЗ на ІВП та проведенням ЯВ у мирних цілях покладено на Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства (ДКА) України [1]. За період з 1992 по 2019 роки технічними засобами сейсмічного методу ГЦСК було зафіксовано 29 підземних ЯВ на ІВП (табл. 1).

Таблиця 1

Кількість ЯВ на ІВП, сигнали від яких були зареєстровані у ГЦСК за період 1992–2019 рр.

Назва полігона, країна	Координати полігона		Кількість вибухів
	Широта	Довгота	
Невада, США	37.02	-115.99	5
Муруроа, Франція	-22.26	-138.81	6
Лобнор, Китай	41.82	88.42	9
Покаран, Індія	27.10	71.86	1
Далбандін, Пакистан	28.49	63.79	2
Пхунгері, Північна Корея	41.24	129.03	6

Своєчасне встановлення факту проведення ЯВ тією або іншою державою чи його спростування, оцінка ступеня технологічного розвитку створення ЯЗ є важливим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням сейсмічного моніторингу присвячено низку робіт [2–7]. Однак більшість запропонованих підходів, спрямованих на вирішення окремих проблем, вимагають значних обчислювальних затрат або потребують попередньої обробки оператором. Крім того, вони використовуються у постоперативному режимі часу, як правило, для уточнення параметрів сейсмічного джерела.

На даний час у міжнародних та національних центрах даних інших країн основна тенденція виявлення сейсмічної події в автоматичному режимі полягає у використанні відносно простих процедур обробки вимірювальних даних, які дозволяють оперативно здійснювати аналіз даних, але при цьому збільшується щільність мережі сейсмічних спостережень [2]. Територіальна обмеженість мережі сейсмічних спостережень ГЦСК, особливо після тимчасової втрати, унаслідок окупації Російською Федерацією Кримського півострова, пунктів спостереження “Севастополь” та “Євпаторія”, зумовлює необхідність розробки методологічних засад використання сейсмічного моніторингу окремими пунктами спостереження.

Іншою передумовою удосконалення методів обробки сейсмічних даних є модернізація мережі сейсмічних спостережень ГЦСК, яка проводиться в рамках міжнародних та національних проєктів.

Тому виникає необхідність проведення аналізу відомих методів обробки сейсмічних даних та визначення основних напрямків удосконалення наявних і розробки нових підходів до обробки вимірювальних даних сейсмічного методу з урахуванням особливостей завдань, які стоять перед ГЦСК у рамках контролю за випробуваннями ЯЗ на ІВП.

**Формулювання завдання дослідження.** Метою роботи є аналіз способів обробки вимірювальних даних сейсмічного методу спостереження, які застосовуються для

вирішення завдань моніторингу ЯВ на ІВП, та визначення основних напрямків удосконалення наявних та розробки нових підходів.

**Виклад основного матеріалу.** Мережа сейсмічних спостережень (МСС) ГЦСК включає трикомпонентні сейсмічні станції (ТКСС), систему сейсмічного групування (ССГ), яка увійшла до Міжнародної мережі сейсмічного моніторингу як станція PS45, та Національний центр даних (рис. 1).

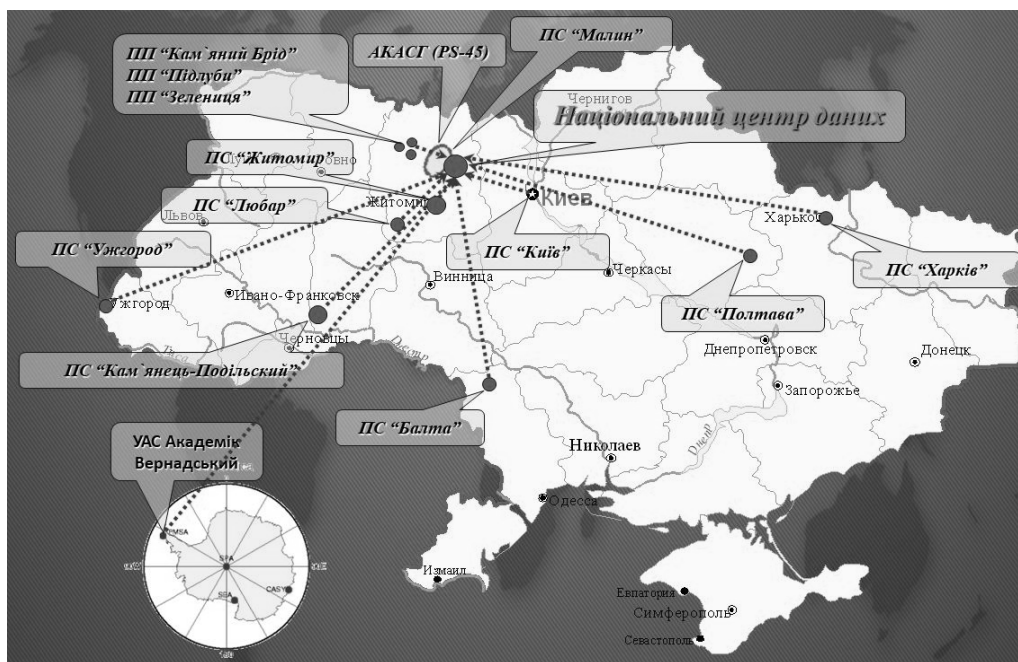


Рис. 1. Мережа сейсмічних спостережень ГЦСК

Обробка вимірювальних даних сейсмічного методу здійснюється в ручному й автоматичному режимах. Рішення про параметри сейсмічної події та можливі наслідки приймається оперативним черговим ГЦСК за результатами аналізу інформації про параметри сейсмічного сигналу (час вступу основних типів сейсмічних хвиль, їх амплітуда та період), отримані з кожного пункту спостереження. При цьому час надання інформації користувачам про параметри сейсмічної події та можливі наслідки становить до 40 хвилин [1, 6].

Модернізація сейсмічних засобів спостереження, передачі та обробки вимірювальних даних, перехід на цифрову обробку інформації, яка проводиться у ГЦСК в рамках національних та міжнародних програм, дозволяють перейти на якісно новий рівень моніторингу сейсмічної обстановки. Однак ці можливості на даний час використовуються обмежено, оскільки реалізовані в ГЦСК способи обробки сейсмічних даних ґрунтуються на алгоритмах «ручної» обробки сейсмограм оператором.

*Обробка вимірювальних даних ССГ.* В основі принципу сейсмічного групування лежить використання властивості когерентності сигналу й некогерентності перешкод, а також відмінності їх швидкості. Різниця в швидкостях розповсюдження сигналу і перешкод дозволяє разом із частотною фільтрацією здійснити в ході групування також швидкісну фільтрацію коливань.

На даний час для обробки вимірювальних даних ССГ використовується метод регульованого спрямованого прийому (МРСП) [7–9]. Обробка даних сейсмічної групи

з використанням МРСП проводиться шляхом затримки сигналу на виході кожного сейсмоприймача на час руху хвилі від вибраного сейсмоприймача до останнього в групі з відповідного напрямку та подальшим їх складанням. Поточне значення на виході ССГ для обраного напрямку (району) визначають у такий спосіб:

$$s_k(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t + \tau_{ik}), \quad (1)$$

де  $x_i$  – елемент часового ряду, утвореного сейсмічним процесом, який відповідає зміщенню ґрунту на  $i$ -тому сейсмоприймачі ССГ;

$\tau_{ik}$  – елемент матриці часової затримки на  $i$ -му елементі ССГ для  $k$ -го району;

$N$  – кількість елементів сейсмічної групи.

Надалі оцінюють сигнал за такою формулою:

$$S_k(T_0) = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_0}^{T_0 + \Delta T} |s_k(T_0 + t)| dt, \quad (2)$$

та шум як

$$P_k(T_0) = \frac{1}{\theta} \int_{T_0 - \theta}^{T_0} |s_k(T_0 - \theta + t)| dt, \quad (3)$$

де  $T_0$  – найбільш імовірний час тривалості сигнальної функції (с);

$\theta$  – час, що передуює сигналу, протягом якого оцінюється шум (с).

Відношення

$$\alpha_k(T_0) = \frac{S_k(T_0)}{P_k(T_0)} \quad (4)$$

приймається за оцінку відношення сигнал-шум.

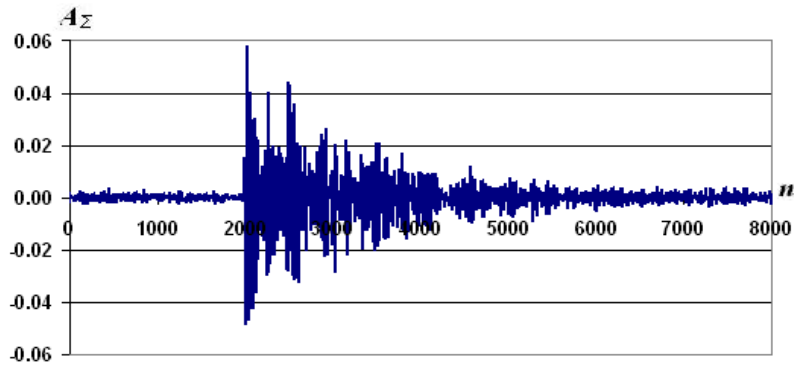
Показником наявності сигналу вважається перевищення порога  $\alpha_k > h$ . Для Української сейсмічної групи значення порога становить  $h = 2,15$  [7].

Вибір конкретної точки з усіх, де перевищено порогове значення, здійснюється за визначенням конкретного  $m$ , якому відповідає максимум оцінки сигналу за формулою (4). Після грубої оцінки координат джерела здійснюється процес уточнення координат, який полягає в пошуку максимуму значення  $\alpha_k$  для меж певної точки. Цей процес виконується вже за контуром реального часу.

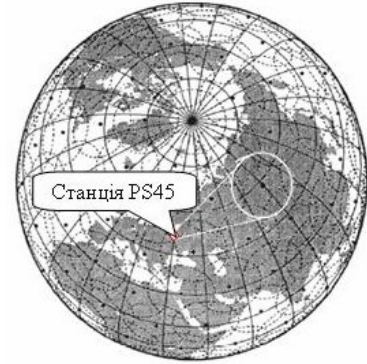
Однак така реалізація вирішальної функції в разі здійснення безперервного моніторингу певного району повністю не виключає впливу сейсмічних сигналів від подій з осередками в інших районах.

На рис. 2 наведено результати обробки вимірювальних даних ССГ у ході формування максимуму діаграми спрямованості на північнокорейський випробувальний полігон (ПнКВП) для сигналу від землетрусу з району о. Хонсю (Японія) з магнітудою  $M = 5,1$ , який відбувся 27.04.2009. При цьому відношення сигнал-шум становить  $\eta = 6,3$ , що перевищує поріг виявлення.

Як видно з наведеного, використання відомих методів для реалізації вирішальної функції (1)–(4) не дозволяє виключити вплив сейсмічних сигналів з інших районів. Тому моніторинг сейсмічної обстановки з використанням ССЗ реалізовано шляхом перевірки гіпотези про відповідність сигналу певному району (рис. 3). Вибір конкретного району, для якого перевищено значення порога, здійснюється шляхом пошуку максимальної оцінки сигналу за формулою (4).



*Рис. 2. Сигналограма від землетрусу в районі о. Кюсю, перерахована МРСП для ПнКВП*



*Рис. 3. Решітка глобального моніторингу станції PS45*

Наступним етапом є уточнення місцеположення осередку сейсмічної події в межах визначеного району. Цей процес виконується за межами контуру реального часу.

Основним напрямком застосування ССГ для вирішення завдань виявлення ЯВ на ІВП є реалізація їх безперервного моніторингу. Для цього необхідно використовувати додаткові критерії. Одним з них є врахування особливостей хвильових форм сейсмічного сигналу. Даний спосіб використовують у процесі ручної обробки сигналограм оператором, він ґрунтується на візуальній оцінці відповідності прийнятої реалізації еталонній. При цьому якість прийняття рішення залежить від низки суб'єктивних факторів, зокрема від рівня підготовки номерів оперативно-чергової зміни.

Визначення відповідності отриманої вибірки (1) еталонному (раніше зареєстрованому) сигналу здійснюється шляхом оцінювання коефіцієнта кореляції  $\hat{r}_{ES}$  за таким виразом:

$$\hat{r}_{ES} = \frac{\hat{K}_{ES}}{\sqrt{\hat{D}_E \cdot \hat{D}_S}} \quad (5)$$

де  $\hat{K}_{ES}$  – оцінка значення кореляційного моменту для еталонного  $E(t)$  та отриманого сигналів  $S(t)$ ;

$\hat{D}_E, \hat{D}_S$  – оцінки дисперсій  $E(t)$  та  $S(t)$ .

Окремим питанням постає розробка методологічних засад реалізації безперервного моніторингу ІВП, на яких не проводилися ЯВ, тобто в умовах відсутності апріорної інформації про форму сейсмічного сигналу. Актуальність цього питання зростає у зв'язку з тим, що багато держав підійшли до межі володіння технологією ЯЗ.

Одним із напрямків вирішення вказаної проблеми є перехід від оцінки відношення сигналу-шум (2)–(4) до оцінки функції взаємної кореляції. Для цього сейсмічна група поділяється на дві підгрупи. Для кожної з них хвильові форми, зареєстровані сейсмометрами, складаються із затримками, що відповідають певному району. Наступним кроком є визначення оцінки функції взаємної кореляції між хвильовими формами на виході суматорів:

$$\Omega_m(T_0) = \frac{\int_{T_0}^{T_0+\Delta T} Z_m(T_0+t)dt}{\sqrt{\int_{T_0}^{T_0+\Delta T} S_{1m}^2(T_0+t)dt} \times \sqrt{\int_{T_0}^{T_0+\Delta T} S_{2m}^2(T_0+t)dt}}, \quad (6)$$

де  $S_{1m}(t)$  та  $S_{2m}(t)$  – поточне значення на виході підгруп;

$$Z_m(T_0) = S_{1m}(T_0) \times S_{2m}(T_0) = \left( \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L x_i(T_0 + \tau_{im}) \right) \times \left( \frac{1}{L} \sum_{j=L+1}^{2L} x_j(T_0 + \tau_{jm}) \right); \quad (7)$$

$L$  – кількість елементів у підгрупі,  $L = \frac{N}{2}$ .

*Обробка вимірювальних даних ТКСС.* Виконання завдань сейсмічного моніторингу окремою ТКСС у загальному вигляді включає такі етапи: виявлення сейсмічного сигналу, визначення складових сейсмічного запису (встановлення типів сейсмічних хвиль), локація осередку сейсмічної події, оцінка параметрів та ідентифікація природи сейсмічного джерела. У разі однопозиційних спостережень останні три етапи виконуються за умови впевненого розв'язання задачі визначення основних складових сейсмічного запису. Тому в ході аналізу наявних методів виявлення та обробки сейсмічних даних основна увага приділятиметься саме можливості вирішення цього завдання. Іншим критерієм слід визначити простоту програмно-алгоритмічної реалізації методів обробки, що, у свою чергу, забезпечить можливість обробки вимірювальних даних у реальному режимі часу.

Основними методами виявлення сейсмічних сигналів, які використовуються в Міжнародному та національних центрах обробки сейсмічних даних, є: алгоритм кумулятивних сум, алгоритм Вейса – Аллена, поляризаційний аналіз, узгоджена фільтрація та метод розпізнавання образів [2, 6].

Перших два методи застосовуються для вирішення завдання виявлення сейсмічного сигналу. Після встановлення факту наявності в прийнятій реалізації сейсмічного сигналу застосовується апарат поляризаційного аналізу, який дозволяє визначити складові сейсмічного запису, ідентифікувати природу сейсмічної події та визначити місцеположення її осередку. Останніх два методи використано для визначення відповідності форми сейсмічного сигналу раніше зареєстрованим сейсмічним подіям.

Для виконання завдань виявлення сейсмічних сигналів від ЯВ на ІВП у ГЦСК застосовують останні два методи. При цьому оцінка відповідності прийнятої реалізації раніше зареєстрованим здійснюється лише, як правило, для вертикальних каналів трикомпонентного сейсмічного запису.

Для підвищення можливостей (показників виявлення) визначення відповідності прийнятої реалізації сейсмічному сигналу від ЯВ на підконтрольному ІВП за результатом спостережень ТКСС необхідно перейти до аналізу всіх складових трикомпонентного сейсмічного запису. Врахування поляризаційних властивостей складових сейсмічного сигналу дозволить здійснювати локацію осередку сейсмічної події за результатами спостережень як окремою ТКСС, так і МСС у цілому.

Крім того, участь ГЦСК у міжнародних проєктах дозволяє використовувати результати ресстрації ТКСС міжнародних та національних центрів даних інших країн. На рис. 4 наведено хвильові форми сейсмічного сигналу від ЯВ на ПнКВП, зареєстрованих південнокорейською станцією KS31, яка входить до Міжнародної системи сейсмічного моніторингу (МССМ) як станція PS31, та японською станцією JKA, що є складовою Національної системи сейсмічного моніторингу Японії як станція AS054.

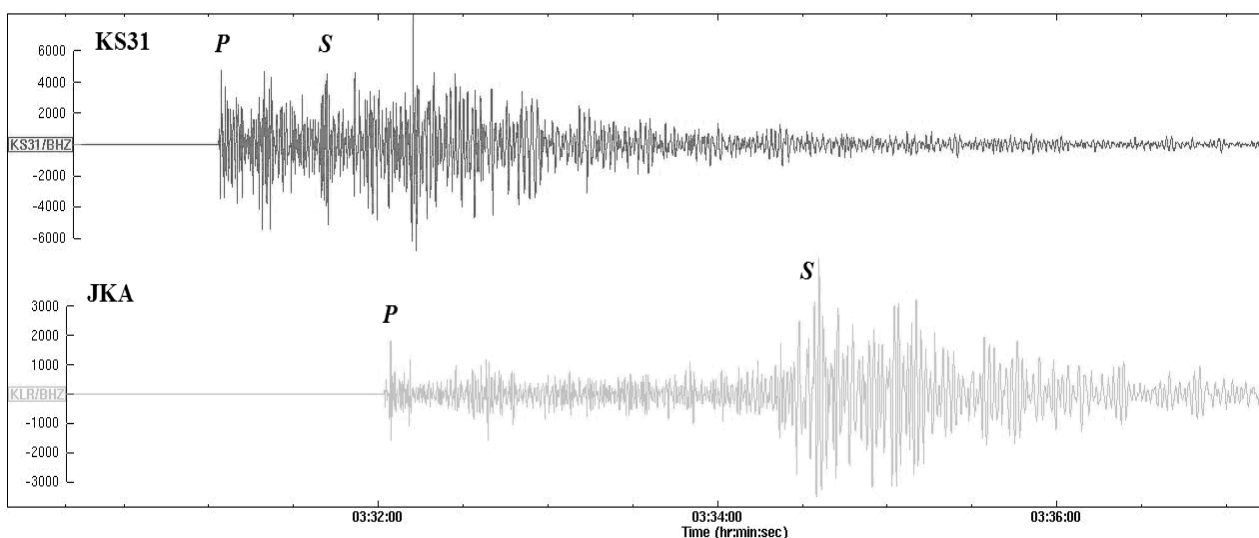


Рис. 4. Сигналограми від ЯВ на ПнКВП, зареєстровані сейсмічними станціями KS31 та JKA (вертикальний канал)

Використання вимірювальних даних МССМ дозволяє підвищити оперативність виявлення, ідентифікації, локації ЯВ та оповіщення керівництва держави про факт випробування ЯЗ та її параметри.

У табл. 2 наведено час розповсюдження сейсмічної хвилі від ПнКВП до сейсмічних станцій МССМ, вимірювальні дані яких можуть бути використані оперативно-черговою зміною ГЦСК для вирішення завдань моніторингу ПнКВП.

Таблиця 2

Час розповсюдження сейсмічної хвилі від ПнКВП до сейсмічних станцій МССМ

Сейсмічна станція, країна	Відстань до ПнКВП, км	Час пробігу P-хвилі	Час пробігу S-хвилі
KS31, Republic of Korea	435	00:01:02	00:02:04
JKA, Japan	1126	00:02:29	00:04:24
АКВВ, Ukraine	7250	00:10:44	00:19:26

У цьому разі актуальним є питання застосування апарату поляризаційного аналізу для обробки вимірювальних даних ТКСС МССМ [2, 6, 10].

Врахування поляризаційних властивостей складових сейсмічного сигналу дозволить здійснювати локацію осередку сейсмічної події за результатами спостережень як окремою ТКСС, так і МСС у цілому. При цьому час отримання вимірювальних даних, необхідних для виявлення сейсмічної події та визначення її параметрів, обмежено часом надходження другої складової сейсмічного сигналу ( $S$ -хвилі) для ТКСС.

Іншим напрямком є розробка способів обробки вимірювальних даних ТКСС, які дозволять здійснювати безперервний моніторинг ІВП, використовуючи методи оптимального виявлення, враховуючи також динамічні (поляризація) та кінематичні (час розповсюдження) особливості складових сейсмічного сигналу.

За результатами сейсмічних спостережень ТКСС, стан підконтрольного ІВП можна визначити функціоналом

$$F(t) = \Omega(\alpha_P, \gamma_P, \alpha_S, \gamma_S, t - \tau_{PS}), \quad (8)$$

де  $\alpha_P, \gamma_P$  – очікуваний азимут та кут виходу першої складової сейсмічного сигналу ( $P$ -хвилі) на денну поверхню, які визначаються положенням підконтрольного ІВП відносно пункту спостереження (ПС);

$\alpha_S, \gamma_S$  – очікуваний азимут та кут виходу  $S$ -хвилі на денну поверхню, які обраховують за умови ортогональності до очікуваного напрямку приходу  $P$ -хвилі;

$\tau_{PS}$  – різниця часу між вступами складових сейсмічного сигналу, яку визначають з відомості про відстань між підконтрольним ІВП та ПС за допомогою годографа.

Встановлення факту сейсмічної події в підконтрольному ІВП відбувається в разі перевищення порогу значення вирішальної функції.

Реалізація такого підходу дозволить підвищити магнітудну чутливість та оперативність оповіщення про сейсмічну подію у підконтрольному районі. Іншою перевагою даного підходу є те, що його використання не потребує наявності апріорної інформації про форму сейсмічного сигналу, що особливо важливо для моніторингу ІВП, на яких не проводилися ЯВ.

**Висновки.** У статті проаналізовано способи обробки вимірювальних даних сейсмічного методу спостереження, що застосовуються для вирішення завдань моніторингу ЯВ на ІВП у МСМ та ГЦСК ДКА України. Визначено напрямки удосконалення відомих та розробки нових способів обробки вимірювальних даних сейсмічного методу виявлення для ССГ та ТКСС. В умовах наявності апріорної інформації про форму сейсмічного сигналу для трикомпонентної станції застосовується метод порівняння з еталонним сигналом, для ССГ метод регульованого спрямованого прийому доповнюється кореляційною схемою обробки вимірювальних даних. За відсутності інформації про форму сейсмічного сигналу для трикомпонентної станції застосовується функціонал, який враховує кінетично-динамічні властивості очікуваного сигналу з осередком у заданому районі, для ССГ здійснюється поділенням групи на дві підгрупи з подальшим застосуванням методу кросс-кореляції між вихідними вибірками кожної підгрупи. Розглянуто можливість застосування сейсмічних станцій МССМ, що дозволяє суттєво зменшити час визначення параметрів сейсмічної події. Реалізація запропонованих підходів дозволить підвищити ефективність виявлення ЯВ на ІВП.



**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Мережа сейсмічних спостережень України як сегмент системи моніторингу джерел потенційної екологічної небезпеки / В. М. Ващенко, С. О. Бабій, І. В. Толчонов, Ю. О. Гордієнко // Екологічна безпека. 2011. № 1. Вип. 11. С. 26–30.
2. Кедров О. К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний. Москва ; Саранск, 2005. 420 с.
3. Напалов Ю. В. О теории группирования сейсмоприемников // Прикладная геофизика. 1960. Вып. 27. С. 27–34.
4. Кейпон Дж. Приложение теории обнаружения и оценки сигналов к сейсмологии больших групп // ТИИЭР. 1970. Т. 58, № 5. С. 170–180.
5. Украинская сейсмическая группа. Специализированная цифровая система сбора сейсмической информации / В. А. Дядюра, И. Ю. Михайлик, А. В. Пененко // Геофизический журнал. 2000. № 3. С. 78–81.
6. Машков О. А., Кирилюк В. А. Методика виявлення сейсмічних сигналів // Труды Академії оборони України. 2002. № 35. С. 122–131.
7. Обработка геофизических сигналов у современных автоматизированных комплексах : навч. посіб. / М. Ф. Пічугін, О. А. Машков, В. А. Кирилюк та ін. Житомир : ЖВІРЕ, 2006. 178 с.
8. Моніторинг сейсмонебезпечних районів засобами сейсмічного групування / Д. В. Голкін, О. І. Солонець, О. С. Бутенко, Ю. О. Гордієнко // Системи обробки інформації. Харків : ХУПС, 2004. Вип. 8 (36). С. 67–70.
9. Моніторинг сейсмічними засобами потенційних джерел надзвичайних подій / Р. А. Андрощук, Ю. О. Гордієнко, В. А. Кирилюк, О. І. Солонець // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ НАУ, 2011. Вип. 5. С. 173–179.
10. Поляризационный анализ сейсмических колебаний / В. Г. Алказ, Н. И. Онофраш, А. И. Перельберг. Кишинев : Штиница, 1977. 110 с.

Подано 30.12.2020

**REFERENCES**

1. Vashchenko, V. M., Babii, S. O., Tolchonov, I. V., & Hordiienko, Yu. O. (2011). Merezha seismichnykh sposterezhen Ukrainy yak sehment systemy monitorynhu dzherel potentsiinoi ekolohichnoi nebezpeky [Network of seismic observations of Ukraine as a segment of the monitoring system of sources of potential ecological danger]. *Ekolohichna bezpeka [Ecological safety]*, № 1, Iss. 11, 26–30 [in Ukrainian].
2. Kedrov, O. K. (2005). *Seismicheskie metody kontroliia iadernykh ispytaniia* [Seismic methods of control of nuclear tests]. Moscow [in Russian].
3. Napalov, Iu. V. (1960). O teorii gruppirovaniia seismopriemnikov [On the theory of grouping of seismic receivers]. *Prikladnaia geofizika [Applied Geophysics]*, 27, 27–34 [in Russian].
4. Keipon Dzh. (1970). Prilozhenie teorii obnaruzheniia i otsenki signalov k seismologii bol'shikh grupp [Application of Signal Detection and Evaluation Theory to Large Group

Seismology]. *TIHER [Proceeding of the IEEE]*, Vol. 58, № 5, 170–180. Trans. from English [in Russian].

5. Diadiura, V. A., Mikhailik, I. Iu., & Penenko, A. V. (2000). Ukrainskaia seismicheskaia gruppya. Spetsializirovannaia tsifrovaia sistema sbora seismicheskoi informatsii [Ukrainian seismic group. Specialized digital seismic data collection system]. *Geofizicheskii zhurnal [Geophysical journal]*, 3, 78–81 [in Russian].

6. Mashkov, O. A., & Kyryliuk, V. A. (2002). Metodyka vyivlennia seismichnykh syhnaliv [Methods of detecting seismic signals]. *Trudy Akademii oborony Ukrainy [Proceedings of the Defense Academy of Ukraine]*, 35, 122–131 [in Ukrainian].

7. Pichuhin, M. F., Mashkov, O. A., & Kyryliuk V. A. et al. (2006). Obrobka heofizychnykh syhnaliv u suchasnykh avtomatyzovanykh kompleksakh [Processing of geophysical signals in modern automated complexes]. Zhytomyr : ZhMIRE [in Ukrainian].

8. Holkin, D. V., Solonets, O. I., Butenko, O. S., & Hordiienko, Yu. O. (2004). Monitorynh seismonebezpechnykh raioniv zasobamy seismichnoho hrupuvannia [Monitoring of seismically dangerous areas by means of seismic grouping]. *Systemy obrobky informatsii [Information processing systems]*, 8 (36), 67–70. Kharkiv: KAFU [in Ukrainian].

9. Androshchuk, R. A., Hordiienko, Yu. O., Kyryliuk, V. A., & Solonets, O. I. (2011). Monitorynh seismichnymy zasobamy potentsiinykh dzherel nadzvychainykh podii [Seismic monitoring of potential sources of emergencies]. *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems. Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, 5, 173–179. Zhytomyr: ZhMI NAU [in Ukrainian].

10. Alkaz, V. G., Onofrash, N. I., Perel'berg, A. I. (1977). *Poliarizatsionnyi analiz seismicheskikh kolebanii [Polarization analysis of seismic vibrations]*. Kishinev [in Russian].

**Y. O. Gordienko, A. O. Lotoshko, O. O. Paplinskiy**

#### **METHODS OF SEISMIC DATA PROCESSING FOR SOLVING TASKS OF MONITORING OF FOREIGN TESTING LANDS**

*The paper analyzes the methods of processing measurement data of the seismic observation method used in the International Seismic Monitoring System and the Main Center for Special Control of the State Space Agency of Ukraine to solve problems of monitoring nuclear tests at foreign test sites. The directions of improvement of known and development of new methods of processing of measuring data of seismic method of detection in the conditions of presence and absence of a priori information on the form of a seismic signal are defined. If the form of the expected seismic signal is known, then the monitoring of foreign test sites by the seismic grouping system can be realized by supplementing the method of controlled directional reception with a correlation scheme of measurement data processing. In the absence of information on the shape of the seismic signal, the monitoring of the test site is carried out by dividing the group into two subgroups, followed by the cross-correlation method between the original samples of each subgroup. For a network of three-component stations, if there is information about the*

*shape of the expected seismic signal, the method of comparison with the reference signal is used. In the absence of reference signals, monitoring is implemented using system discriminant, which takes into account the kinetic and dynamic properties of the expected signal with a cell from a given area. Possibilities of application of seismic stations of the International system of seismic monitoring are analyzed, use of measuring data which for the decision of problems of monitoring of foreign landfills allows to reduce time of definition of parameters of a seismic event essentially. A feature of the signals registered by seismic stations of the International System is the presence of types of seismic waves characteristic of events with cells in the near zone. Implementation of monitoring of test sites is possible by taking into account the polarization and dynamic properties of seismic waves. The implementation of the proposed approaches will increase the efficiency of solving the problem of detecting nuclear explosions at foreign test sites.*

**Keywords:** *seismic monitoring; foreign test site; seismic grouping system; three-component seismic station; methods of seismic data processing.*