

УДК 550.34

Ю.О. Гордієнко¹, О.І. Солонець², І.В. Толчонов¹, В.О. Гордієнко³¹ Головний центр спеціального контролю, Макарів-1² Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків³ Національний університет оборони України, Київ

ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК ВИБІРКОВОСТІ СИСТЕМИ СЕЙСМІЧНОГО ГРУПУВАННЯ ПРИ ВРАХУВАННІ ФОРМИ СЕЙСМІЧНОГО СИГНАЛУ

З великою скорботою автори присвячують наведені дослідження світлій пам'яті Володимира Івановича Карпенка. Володимир Іванович – видатний науковець та високопорядна людина – бачив значне майбутнє в розвитку геофізичного моніторингу, надавав авторам неоціненну допомогу в проведенні досліджень за цим напрямком. В роботі проведена оцінка характеристик вибіркості системи сейсмічного групування для існуючого способу обробки вимірювальних даних та при використанні інформації про форму сейсмічного сигналу. На прикладі Північно-Корейського випробувального полігону показано, що врахування форми сейсмічного сигналу покращує характеристики вибіркості системи сейсмічного групування, тим самим надає можливість реалізувати безперервний моніторинг полігону.

Ключові слова: геофізика, сейсмічний сигнал, система сейсмічного групування.

Вступ

Постановка проблеми. Наміри про створення ядерної зброї (ЯЗ) все більшим колом країн доводять актуальність вирішення завдань моніторингу ядерних випробувань з метою визначення стану розвитку технології створення ЯЗ. В Україні завдання контролю технічними засобами за дотриманням вимог міжнародних договорів щодо обмеження та заборони випробувань ЯЗ покладено на Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) Національного космічного агентства України [1].

Основним і найбільш чутливим елементом мережі спостережень ГЦСК при вирішенні завдань моніторингу іноземних ядерних випробувальних полігонів (ІЯВП) є система сейсмічного групування (ССГ), яка увійшла до Міжнародної системи моніторингу як станція PS45.

В основі принципу групування лежить використання властивості когерентності сейсмічного сигналу і некогерентності шуму, та відмінності швидкості їх поширення [2 – 5].

ССГ являє собою просторово-часовий приймач, основними перевагами якого є підвищення відношення сигнал/шум та забезпечення тим самим реєстрації слабких сейсмічних сигналів від віддалених сейсмічних джерел, як природного так і техногенного походження. Нерівномірне розміщення сейсмоприймачів у ССГ дозволяє розглядати її як плоску нееквідистантну антенну решітку пасивних приймачів [7]. Основною перевагою таких систем є відсутність у діаграмі спрямованості (ДС) інтерференційних пелюстків високого рівню, а також відсутність суттєвих спотворень головної пелюстки. Оцінка ж характеристик вибіркості ССГ має значний науковий та практичний інтерес.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час обробка вимірювальних даних ССГ проводиться шляхом реалізації методу додавання із затримками, відомого також як метод формування променя [7 – 9]. Використання даного підходу передбачає оцінку відношення сигнал/шум для всіх районів Земної кулі та пошук ділянки, для якого це відношення приймає максимальне значення.

Основними недоліками реалізованого підходу є значна кількість обчислювальних операцій, особливо при здійсненні безперервного моніторингу ІЯВП засобами ССГ. Також даний підхід не виключає впливу сейсмічних сигналів від подій з осередками в інших районах Земної кулі, що може призвести до помилкового виявлення сигналу.

Одним з напрямків вирішення зазначеної проблеми є врахування особливостей хвильових форм сейсмічного сигналу. Однак, для оцінки можливості переходу до використання інформації про форму сейсмічного сигналу необхідно провести оцінку характеристик вибіркості ССГ, які попередньо визначались без врахування форми сигналу [6, 9].

Формулювання мети статті. Таким чином, метою статті є оцінка характеристик вибіркості ССГ при доповненні методу обробки сейсмічних даних інформацією про форму сейсмічного сигналу.

Виклад основного матеріалу дослідження

ДС ССГ визначається виразом:

$$S(\lambda, \varphi) = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_0}^{T_0 + \Delta T} \left| \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i \right|_{T_0 + \tau_i} \lambda, \varphi + t \, dt, \quad (1)$$

де λ та φ – широта та довгота умовного центру району Земної кулі, включеного до моніторингу ССГ;

T_0 – початок сигнальної функції;
 ΔT – тривалість сигнальної функції;
 k – кількість елементів ССГ;
 y_i – елемент часового ряду, утвореного сейсмічним процесом, який відповідає зміщенню ґрунту на i -му сейсмоприймачі ССГ;
 $\tau_i(\lambda, \varphi)$ – елемент матриці затримок, який залежить від координат підконтрольного району (λ, φ), швидкості сейсмічної хвилі та визначається з рішення зворотної геодезичної задачі.

Характеристики ДС – кутові положення максимуму, ширина головної пелюстки, рівень бічних пелюсток – будуть залежати від місцезположення сейсмічного джерела відносно ССГ. На рис. 1 наведено приклади реалізації ДС ССГ для сигналів від сейсмічних подій з різних районів Земної кулі:

- а) землетрус в районі о. Гаїті (12.01.2010, магнітуда $M=5,9$);
- б) землетрус в районі островів Рюкю (Японія) (15.01.2010, $M=5,3$);
- в) землетрус в районі Соломонових островів (05.01.2010, $M=6,8$);
- г) ядерний вибух на Північно-Корейському випробувальному полігоні (ПнКВП) 25.05.2009.

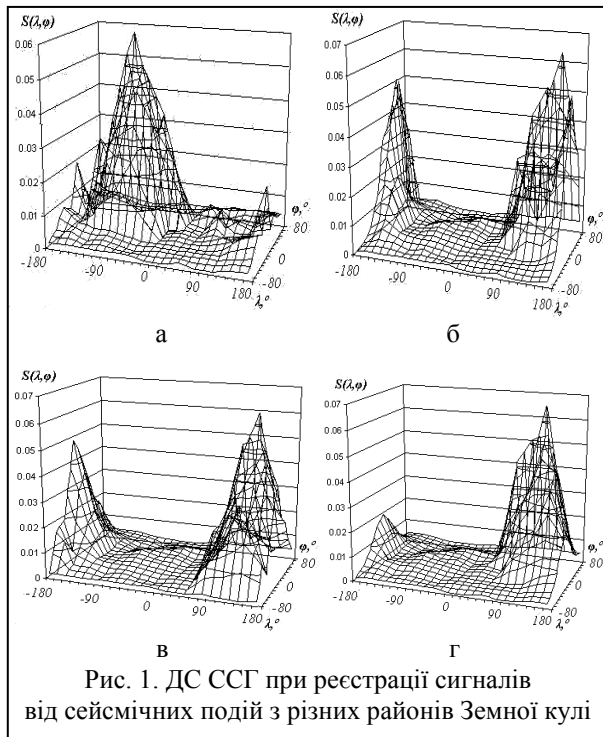


Рис. 1. ДС ССГ при реєстрації сигналів від сейсмічних подій з різних районів Земної кулі

Однією з важливих характеристик ДС є ширина головної пелюстки за рівнем 0,7, яка в свою чергу визначає розміри території Земної поверхні, для якої проводиться уточнення місцезположення осередку сейсмічної події за контуром реального часу. На рис. 2 наведено проєкції нормованої ДС ССГ для сигналів від землетрусу з району островів Рюкю (рис. 2, а) та від ядерного вибуху на ПнКВП (рис. 2, б)).

Аналіз рис. 2 показує, що при використанні існуючого способу обробки вимірювальних даних ССГ кутові розміри ширини головної пелюстки за рівнем 0,7 в середньому складають $60^\circ \times 40^\circ$ для району островів Рюкю та $20^\circ \times 20^\circ$ для ПнКВП. При цьому, в межах формування головної пелюстки для ПнКВП (рис. 2, б)) знаходяться сейсμοактивна зона в районі Японських островів.

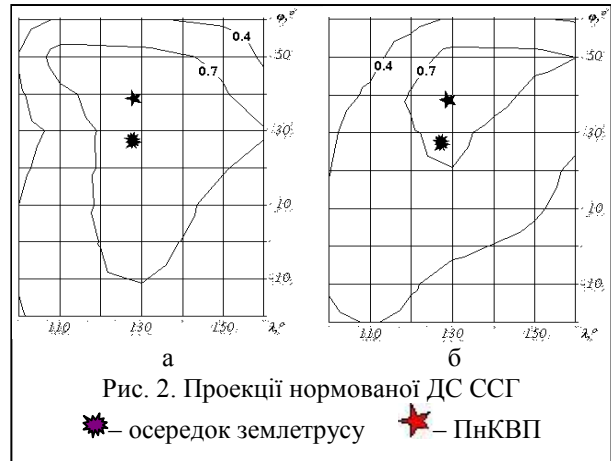


Рис. 2. Проєкції нормованої ДС ССГ

☀ – осередок землетрусу ☀ – ПнКВП

Тобто, при реалізації безперервного моніторингу ІЯВП засобами ССГ (без подальшої ідентифікації в режимі реального часу) сигнали від інших сейсмічних подій можуть бути помилково визначені як сигнал з підконтрольного ІЯВП.

Для подолання даної проблеми пропонується доповнити спосіб обробки вимірювальних даних ССГ модулем аналізу форми сейсмічного сигналу та оцінки ступеню його відповідності з раніш зареєстрованими сигналами з даного ІЯВП. Для цього вираз (1) представляється як:

$$S(\lambda, \varphi) = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_0}^{T_0 + \Delta T} |\Theta(\lambda, \varphi, t)| dt, \quad (2)$$

де

$$\Theta(\lambda, \varphi, t) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i(t + \tau_{\lambda, \varphi}) \quad (3)$$

Оцінка відповідності зареєстрованого сигналу з раніш зареєстрованим з даного ІЯВП проводиться шляхом розрахунку коефіцієнту кореляції:

$$\hat{r}_{\Theta E} = \frac{\hat{K}_{\Theta E}}{\sqrt{\hat{D}_{\Theta} \hat{D}_E}}, \quad (4)$$

де $\hat{K}_{\Theta E}$ – оцінка значення кореляційного моменту між зареєстрованим ССГ сигналом $\Theta(\lambda, \varphi, t)$ та раніш зареєстрованим сигналом сейсмічною групою $E(\lambda, \varphi, t)$ з визначеного ІЯВП;

$\hat{D}_{\Theta}, \hat{D}_E$ – оцінки дисперсій $\Theta(\lambda, \varphi, t)$ та $E(\lambda, \varphi, t)$ відповідно.

Використання інформації про форму сейсмічного сигналу дозволяє перейти від характеристик

вибірковості за рівнем сигналу $S(\lambda, \varphi)$ до характеристик вибірковості за рівнем кореляції зареєстрованого сигналу та еталонного, раніш зареєстрованого з підконтрольного ІЯВП.

На рис. 3 наведено проекцію ДС ССГ за рівнем кореляції (4) для ПнКВП. Аналіз наведеної залежності показує, що перехід до використання інформації про форму сейсмічного сигналу з підконтрольного району, на прикладі ПнКВП, дозволяє зменшити кутові розміри ширини головного пелюстка за рівнем 0,7 в середньому до $10^\circ \times 10^\circ$, тим самим виключити вплив сейсмічних сигналів з сейсмоактивної зони в районі Японських островів.



Рис. 3. Проекція нормованої ДС ССГ при врахуванні форми сейсмічного сигналу

Висновки

Таким чином, доповнення способу обробки вимірювальних даних ССГ модулем аналізу форми сейсмічного сигналу та оцінки ступеню його відповідності з раніш зареєстрованими сигналами з визначених ІЯВП дозволяє зменшити кутові розміри ширини головного пелюстка діаграми спрямованості ССГ, тим самим зменшити рівень сигналів

з інших районів Земної кулі, та реалізувати безперервний моніторинг ІЯВП засобами ССГ.

Список літератури

1. Негода О.О. *Космічне право України. Збірник нормативно-правових актів та міжнародних документів* / О.О. Негода. – К.: Видавн. дім "Ін Юре", 1999. – 264 с.
2. Напалков Ю.В. *О теории группирования сейсмоприемников* / Ю.В. Напалков // *Прикладная геофизика*. – 1960. – Вып. 27. – С. 12-34.
3. Винник Л.П. *Группирование низкочастотных сейсмометров* / Л.П. Винник // *Изв. АН СССР. Сер. геофиз.* – 1961. – № 5. – С. 634-648.
4. Аки К. *Количественная сейсмология: В 2 т.* / К. Аки, П. Ричардс. – М.: Мир, 1983. – Т. 2. – 350 с.
5. Кедров О.К. *Сейсмические методы контроля ядерных испытаний* / О.К. Кедров. – М.: Крас. Окт., 2005. – 420 с.
6. Пастушенко Н.С. *Направленные свойства сейсмической группы как аналога решетки пассивных приемников* / Н.С. Пастушенко, А.И. Солонец // *Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб.* – Х.: ХГТУРЭ, 2000. – Вып. 116. – С. 60-63.
7. Дядюра В.А. *Украинская сейсмическая группа. Модернизация аппаратно-программных средств* / В.А. Дядюра, И.Ю. Михайлик, А.В. Пененко и др. // *Геофизический журнал*. – 2000. – Т. 22, № 3. – С. 70-77.
8. Голкін Д.В. *Моніторинг сейсмонезбезпечних районів засобами сейсмічного групування* / Д.В. Голкін, О.І. Солонець, О.С. Бутенко, Ю.О. Гордієнко // *Системи обробки інформації: зб. наук. пр.* – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 8(36). – С. 67-70.
9. Гордиенко Ю.А. *Избирательные характеристики Украинской сейсмической группы при мониторинге сейсмоопасных районов в ближней зоне* / Ю.А. Гордиенко, А.И. Солонец, И.Н. Сацук, В.Н. Шапка // *Збірник наукових праць ЖВІРЕ.* – Житомир: ЖВІРЕ, 2004. – Вип. 8. – С. 130-141.

Надійшла до редколегії 10.06.2010

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ГРУППИРОВАНИЯ ПРИ УЧЕТЕ ФОРМЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Ю.А. Гордиенко, А.И. Солонец, И.В. Толчонов, В.А. Гордиенко

В работе проведена оценка характеристик избирательности системы сейсмического группирования для существующего способа обработки измерительных данных и при использовании информации о форме сейсмического сигнала. На примере Северо-Корейского испытательного полигона показано, что учет формы сейсмического сигнала улучшает характеристики избирательности системы сейсмического группирования, тем самым предоставляет возможность реализовать непрерывный мониторинг полигона.

Ключевые слова: геофизика, сейсмический сигнал, система сейсмического группирования.

ESTIMATION OF ELECTORAL DESCRIPTIONS OF SEISMIC GROUPING SYSTEM AT CONSIDERATION OF SEISMIC SIGNAL FORM

J.A. Gordienko, A.I. Solonets, I.V. Tolchonov, V.A. Gordienko

Estimation of electoral descriptions of seismic grouping system for the existent method of the measuring data processing and in case of information use about form of seismic signal is conducted in work. On example of the Nord-Korean tester ground it is shown, that the consideration of seismic signal form improves of electoral descriptions of the seismic grouping system, the same gives possibility to realize the continuous monitoring of ground.

Keywords: geophysics, seismic signal, seismic grouping system.