

ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТА ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ НАДЗВИЧАЙНИХ ПОДІЙ

У роботі запропоновано підхід щодо використання апарата поляризаційної фільтрації для моніторингу потенційних джерел надзвичайних подій, який не потребує попереднього розрахунку коефіцієнта лінійності та дає можливість використовувати даний підхід у реальному режимі часу. Наведено результати тестування запропонованого підходу для виявлення сейсмічних сигналів від землетрусів з осередками у сейсмоактивній зоні Вранча.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Одним із завдань, що стоять перед Головним центром спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства України (ДКАУ) в рамках функціонування Національної системи сейсмічних спостережень, є оперативне оповіщення про факт сейсмічної події природного або техногенного походження [1]. Як напрямок підвищення оперативності надання інформації користувачам про факт сейсмічної події та її параметри, є перехід від пошукової задачі визначення місцеположення осередку сейсмічного джерела до моніторингу потенційних джерел надзвичайних подій (ПДНП) природного (сейсмоактивні зони) та техногенного (потенційно-небезпечні об'єкти) характеру. Тому питання розробки відповідних методологічних засад щодо реалізації безперервного моніторингу ПДНП є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із напрямків щодо вирішення вказаної проблеми за результатом спостережень трикомпонентної сейсмічної станції (ТКСС) є використання поляризаційних властивостей складових сейсмічного сигналу. Поляризаційному аналізу сейсмічних даних присвячена низка робіт [2–8], у яких визначені поляризаційні властивості складових сейсмічних сигналів, розглянуто питання виявлення сигналів за поляризаційною ознакою та визначення їх складових.

Так у роботах [5, 6] виявлення сейсмічного сигналу здійснюється шляхом пошуку ділянки сейсмічного запису за результатом оцінки коефіцієнта лінійності G . При цьому кутове положення головної півосі еліпсоїда для першого вступу (P -хвилі) співпадає з кутовим положенням осередку сейсмічної події відносно пункту спостереження (ПС). Виявлення другої складової (S -хвилі) здійснюється шляхом пошуку ділянки сейсмічного сигналу, на якому рух частинок середовища можна вважати лінійним, а напрямком руху є ортогональним відносно напрямку надходження сейсмічної хвилі (ділянки запису, що відповідає P -хвилі) [7].

При проведенні моніторингу ПДНП ТКСС вхідними даними є: кутове положення ПДНП відносно ПС (азимут α та кут виходу сейсмічного сигналу на денну поверхню γ); відстань Δ між підконтрольним ПДНП та ПС. За відомим значенням відстані Δ з годографа (рис. 1) визначається різниця часу між надходженням P - та S -хвиль τ_{PS} .

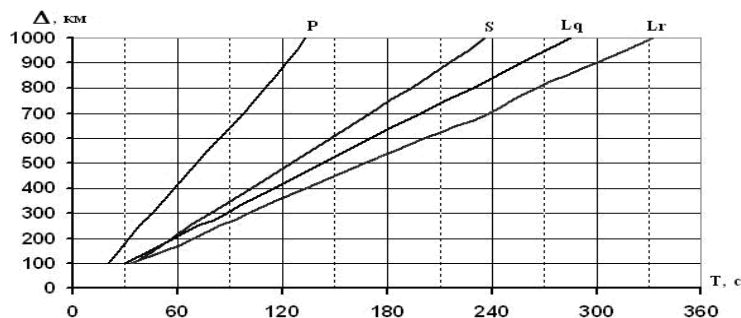


Рис. 1. Годограф сейсмічних хвиль (до 1000 км)

Відомості про кутове положення ПДНП відносно ПС дають апріорну інформацію про напрямок надходження сейсмічної хвилі, що, у свою чергу, визначає кутове положення головної півосі еліпсоїда для P -хвилі як таке, що співпадає з напрямком надходження сейсмічної хвилі, та для S -хвилі як ділянки запису з ортогональним положенням головної півосі відносно напрямку надходження сейсмічної хвилі зміщеним за часом відносно першого вступу на τ_{PS} .

Враховуючи динамічні (поляризація) та кінематичні (швидкість розповсюдження) характеристики сейсмічних хвиль для моніторингу ПДНП ТКСС, в роботі [8] запропоновано таку вирішальну функцію:

$$\Omega(t) = G_P \cdot \cos(\varphi_P(\alpha_P, \gamma_P, t - \tau_{PS})) \cdot G_S \cdot \sin(\varphi_S(\alpha_S, \gamma_S, t)), \quad (1)$$

де $\varphi_P(\alpha_P, \gamma_P, t - \tau_{PS})$ – кут між головною півосі для ділянки запису, що відповідає P -хвилі та напрямком на ПДНС відносно ПС; $\varphi_S(\alpha_S, \gamma_S, t)$ – кут між головною півосі для ділянки запису, що відповідає S -хвилі та напрямком на ПДНС відносно ПС.

Реалізація моніторингу ПДНП за даним підходом потребує значних обчислювальних затрат, насамперед, для визначення коефіцієнта лінійності G , що ускладнює його використання у реальному режимі часу.

Отже виникає завдання оптимізації процесу обробки вимірювальних даних трикомпонентної сейсмічної станції при вирішенні завдань моніторингу ПДНП.

Метою роботи є розробка методологічних підходів обробки вимірювальних даних ТКСС, яка дозволяє здійснювати безперервний моніторинг потенційних джерел надзвичайних подій у реальному режимі часу шляхом врахування поляризаційних властивостей складових сейсмічного запису.

Викладення основного матеріалу. Враховуючи динамічні та кінематичні характеристики сейсмічних хвиль для моніторингу ПДНП ТКСС пропонується перейти від поляризаційного аналізу сейсмічного запису до поляризаційної фільтрації сейсмічних даних.

Процедура поляризаційної фільтрації полягає у перерахунку похідного запису вимірювальних даних ТКСС на певний напрямок [3]:

$$p_i(\alpha, \gamma) = g_i \cdot G^{\alpha\gamma}, \quad (2)$$

де g_i – поточне значення зміщення ґрунту на каналах ТКСС $g_i = \{n_i, e_i, z_i\}$; $G^{\alpha\gamma}$ – напрямок, для якого проводиться ПФ $G^{\alpha\gamma} = \{n, e, z\}$, де координати n, e, z пов'язані з азимутом α та кутом виходу γ на підконтрольний об'єкт (район) відносно ПС та визначається як [9]:

$$n = \cos(\gamma) \cdot \cos(\alpha), \quad e = \cos(\gamma) \cdot \sin(\alpha), \quad z = \sin(\gamma). \quad (3)$$

Для зменшення впливу шумових коливань та сигналів з інших напрямків та слабополяризованих (фонових) коливань у роботах [2, 3] пропонується враховувати значення ступеня лінійності прийнятої реалізації та кутове положення головної півосі еліпсоїда відносно напрямку, для якого здійснюється ПФ (напрямок на підконтрольний район) як:

$$p_i(\alpha, \gamma) = g_i \cdot G^{\alpha\gamma} \cdot G \cdot \Theta, \quad (4)$$

де G – коефіцієнт лінійності ($0 < G < 1$), прийнятої реалізації трикомпонентного запису; Θ – кутове положення у просторі головної півосі еліпсоїда відносно напрямку на підконтрольний район (об'єкт).

Як оцінку ступеня лінійності коливань та відповідності напрямку коливань у роботі [9] пропонується ввести функцію Y , яка визначає відношення коливання ґрунту, спрямованого за напрямком, що відповідає кутовому положенню підконтрольного ПДНП відносно ПС до повного зміщення ґрунту для прийнятої реалізації як:

$$Y_{\alpha\gamma}(T_0) = \frac{\int_{T_0}^{T_0+\Delta T} |r(t)| dt}{\int_{T_0}^{T_0+\Delta T} M(t) dt}, \quad (5)$$

де $r(t)$ – визначає спрямованість прийнятої реалізації трикомпонентного запису за напрямком на підконтрольний район (об'єкт) як:

$$r(t) = z(t) \cdot z + e(t) \cdot e + n(t) \cdot n, \quad (6)$$

де $z(t), n(t), e(t)$ – поточне значення зміщення ґрунту на каналах ТКСС; z, n, e – координати одиночного вектора, який визначає кутове положення підконтрольного ПДНП відносно ПС (2); $M(t)$ – повне зміщення ґрунту:

$$M(t) = \sqrt{z^2(t) + e^2(t) + n^2(t)}, \quad (7)$$

де ΔT – найбільш імовірний час тривалості складової сейсмічного сигналу.

Функція Y приймає значення від 0 до 1 при цьому рівність одиниці досягається для випадку прямолінійного руху часток ґрунту повздовж підконтрольного напрямку, для значень близьких до нуля, для випадку прямолінійного руху часток ґрунту в напрямку ортогональному до підконтрольного.

Перехід від оцінки коефіцієнта лінійності та визначення положення головної півосі до визначення спрямованості руху часток ґрунту відповідному напрямку дозволяє виявляти сейсмічні сигнали з підконтрольного напрямку та зменшувати вплив фонових коливань і сигналів з інших напрямків.

Основною перевагою даного способу є зменшення кількості обчислювальних операцій, порівняно з існуючими способами при необхідній якості поляризаційної фільтрації.

На рисунку 2 наведено результати обробки сейсмічного сигналу від землетрусу з осередками у сейсмоактивній зоні (САЗ) Вранча (1.05.2011р., $M = 4,8$) зареєстрований ТКСС ПС «Ворсівка» (Малинський р-н., Житомирської обл.): a – хвильові форми сейсмічних сигналів (вертикальна складова); b – поточне значення вирішальної функції Y . Значення вирішальної функції розраховувались для ділянки сейсмічного запису тривалістю $\Delta T = 1$ с, що відповідає 40 відлікам при частоті дискретизації $f_d = 40$ Гц.

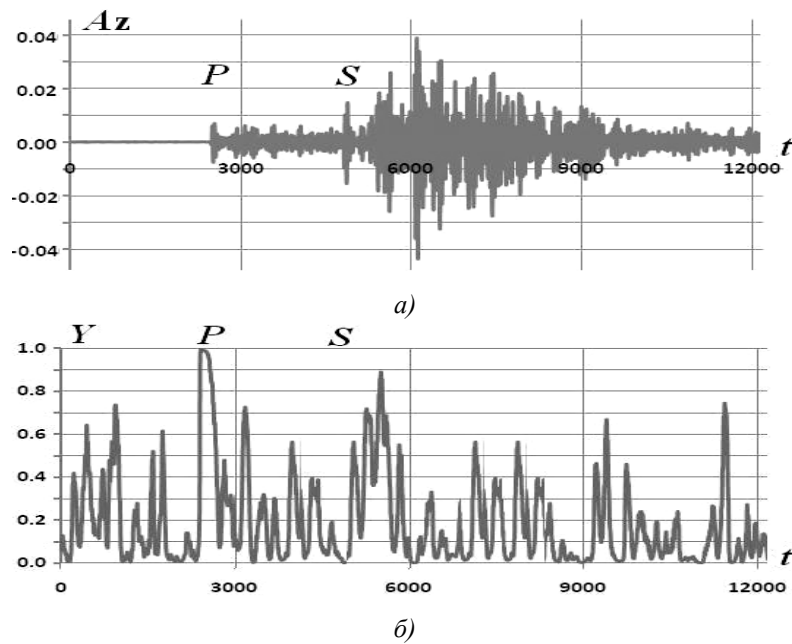


Рис. 2. Вертикальна складова сейсмічного запису від землетрусу з осередком у САЗ Вранча (а) та значення вирішальної функції (б)

Як видно з рисунку 2 максимальне значення функції Y , перерахованого для напрямку на підконтрольний район, відповідає першому вступу сейсмічного сигналу (P -хвилі). Для другої складової сейсмічного запису (S -хвилі) функції Y приймає значення близького до нуля.

Таким чином, враховуючи (2) та (5), для виявлення сейсмічного сигналу з осередком у підконтрольному районі пропонується ввести таку функцію:

$$Z(T_0) = Y_{\alpha\gamma}(T_0 - \tau_{PS}) \cdot (1 - Y_{\alpha\gamma}(T_0)) = \frac{\int_{T_0 - \tau_{PS}}^{T_0 - \tau_{PS} + \Delta T} |r(t)| dt}{\int_{T_0 - \tau_{PS}}^{T_0 - \tau_{PS} + \Delta T} M(t) dt} \cdot \left(1 - \frac{\int_{T_0}^{T_0 + \Delta T} |r(t)| dt}{\int_{T_0}^{T_0 + \Delta T} M(t) dt} \right). \quad (8)$$

Нижче наведено результати використання запропонованого підходу для моніторингу землетрусів з осередками у сейсмоактивній зоні Вранча. На рисунку 3 наведено поточне значення вирішальної функції $Z(t)$ для сейсмічного сигналу від землетрусу у САЗ Вранча (рис. 2, а). Як видно з рисунка, максимальне значення вирішальної функції $Z(t)$ перепадає на момент вступу другої складової сейсмічного запису (S -хвилі). При цьому вирішальна функція набуває значення $Z(t) = 0,923$, що перевищує поріг виявлення, який становить $Z(t)_{\text{пор}} = 0,9$ [8].

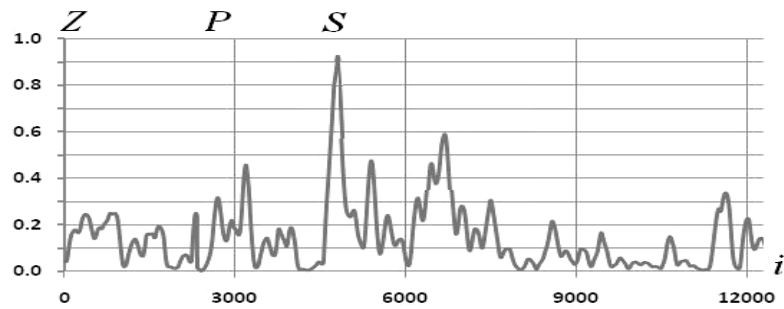


Рис. 3. Поточне значення вирішальної функції $Z(t)$ для сейсмічного сигналу від землетрусу у САЗ Вранча

На рисунку 4 наведено результати розрахунку вирішальної функції для сейсмічного сигналу від землетрусу з осередком у районі о. Кріт (Греція) зареєстрований ТКСС ПС «Малин». Особливістю сигналів з даного району для даного ПС є те, що кутові характеристики першого вступу близькі до кутових характеристик першого вступу сейсмічних сигналів від землетрусів з осередками у САЗ Вранча.

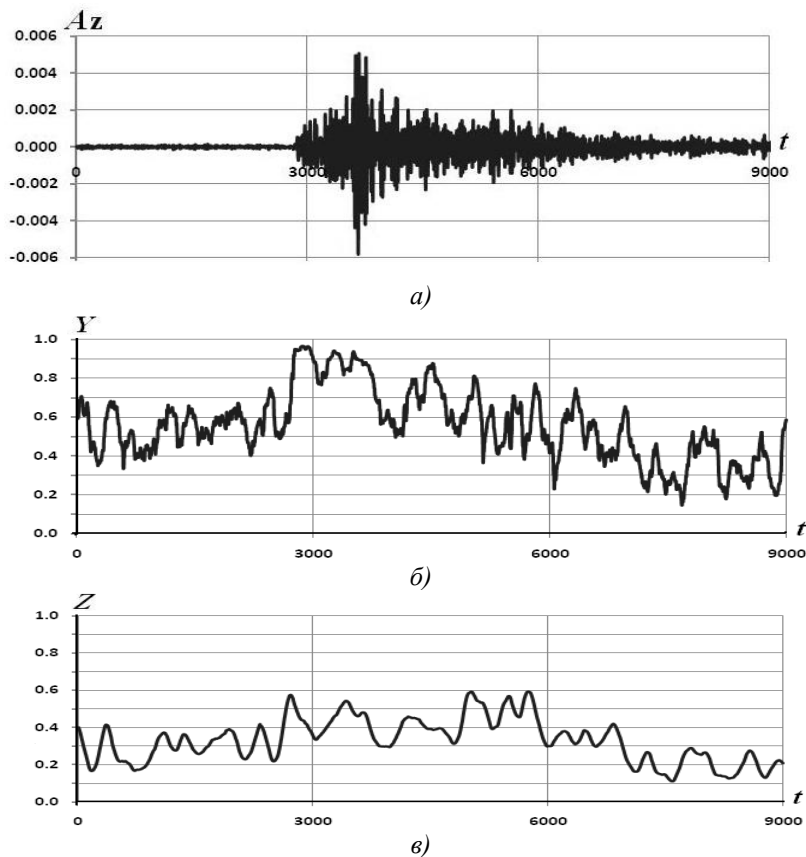


Рис. 4. Результати обробки сейсмічного сигналу від землетрусу з району о. Кріт (27.01.2012р., $M = 5,2$): а – вертикальна складова сейсмічного запису; б – поточне значення вирішальної функції $Y(t)$, визначеної за виразом (4); в – поточне значення вирішальної функції $Z(t)$, визначеної за виразом (7)

Як видно з рисунка 4, б, на момент вступу сейсмічного сигналу вирішальна функція приймає значення $Y(t) = 0,945$, що перевищує значення порогу та може бути помилково визначено як сейсмічний сигнал від землетрусу із САЗ Вранча. При цьому значення вирішальної функції $Z(t)$ на всій ділянці сейсмічного запису не перевищує значення 0,6 (рис. 4, в).

Висновки. У роботі запропоновано підхід щодо обробки вимірювальних даних ТКСС, який дозволяє здійснювати безперервний моніторинг ПДНП на основі динамічних та кінематичних властивостей складових сейсмічного запису, шляхом використання апарата поляризаційної фільтрації з урахуванням особливостей основних складових сейсмічного сигналу. Перехід до використання апарата поляризаційної фільтрації без розрахунку коефіцієнта лінійності та оцінки кутового положення головної

півосі еліпсоїда відносно напрямку на підконтрольне ПДНП дає можливість використовувати даний підхід у реальному режимі часу.

Список використаної літератури:

1. *Негода О.О.* Космічне право України : збірник нормативно-правових актів та міжнародних документів / *О.О. Негода*. – К. : Видавничий дім «Ін Юре» іп. «Крас. Окт.», 1999. – 264 с.
2. *Алказ В.Г.* Поляризаційний аналіз сейсмічних коливань / *В.Г. Алказ, Н.И. Онофраш, А.И. Перельберг*. – Кишинев : Штиница, 1977. – 110 с.
3. *Александров С.И.* Поляризаційний аналіз сейсмічних хвиль / *С.И. Александров*. – М. : ОИФЗ РАН, 1999. – 142 с.
4. *Кедров О.К.* Сейсмічні методи контролю ядерних випробувань / *О.К. Кедров*. – М. ; Саранск : Тип. «Крас. Окт.», 2005. – 420 с.
5. *Саваренский Е.Ф.* Сейсмічні хвилі / *Е.Ф. Саваренский*. – М. : Недра, 1972. – 293 с.
6. *Гордієнко В.О.* Виявлення сейсмічних сигналів та визначення кутових характеристик їх джерел за результатами поляризаційної фільтрації / *В.О. Гордієнко, Ю.О. Гордієнко, В.А. Кирилюк* // Вісник ЖДТУ. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – № 1 (52). – С. 67–71.
7. *Гринюк Ю.В.* Використання поляризаційної фільтрації сейсмічних сигналів для покращання якісних показників їх виявлення / *Ю.В. Гринюк, В.А. Кирилюк, В.О. Сергійко* // зб. наук. праць ЖВІРЕ. – Житомир : ЖВІРЕ, 2004. – Вип. 8. – С. 124–129.
8. *Гордієнко В.О.* Виявлення S-хвилі сейсмічного сигналу за поляризаційною ознакою / *В.О. Гордієнко, Ю.О. Гордієнко, В.А. Кирилюк* // Вісник ЖДТУ. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – № 3 (54). – С. 36–41.
9. Моніторинг сейсмічними засобами потенційних джерел надзвичайних подій / *Р.А. Андрущук, Ю.О. Гордієнко, В.А. Кирилюк та ін.* // ЗНП ЖВІ НАУ. – 2011. – № 5. – С. 173–179.
10. *Выгодский М.Я.* Справочник по высшей математике / *М.Я. Выгодский*. – М. : Наука, 1972. – 872 с.
11. *Гордієнко Ю.О.* Поляризаційна фільтрація вимірювальних даних трикомпонентної сейсмічної станції / *Ю.О. Гордієнко* // Вісник ЖДТУ. – № 3 (58). – 2011. – С. 123–127.

ГОРДІЄНКО Юрій Олексійович – кандидат технічних наук, інженер відділу науково-дослідницького, випробувального Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України.

Наукові інтереси:

- обробка геофізичної інформації;
- фрактальний аналіз, детермінований хаос.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2012

Гордієнко Ю.О. Використання апарата поляризаційної фільтрації для моніторингу потенційних джерел надзвичайних подій

Гордиенко Ю.О. Использование аппарата поляризационной фильтрации для мониторинга потенциальных источников чрезвычайных событий

Gordienko U.O. Use of vehicle of polarization filtration for monitoring of potential a source emergency events

УДК 550.34

Использование аппарата поляризационной фильтрации для мониторинга потенциальных источников чрезвычайных событий / Ю.О. Гордиенко

В работе предложен способ использования аппарата поляризационной фильтрации для мониторинга источников чрезвычайных событий, который не требует предварительного расчета коэффициента линейности и дает возможность использовать данный подход в реальном режиме времени. Приведены результаты тестирования предлагаемого подхода для обнаружения сейсмических сигналов от землетрясений с очагами в сейсмоактивной зоне Вранча.

УДК 550.34

Use of vehicle of polarization filtration for monitoring of potential a source emergency events / U.O. Gordienko

The method of the use of vehicle of polarization filtration is in-process offered for monitoring of sources of emergency events, which does not require the preliminary calculation of coefficient of linearness and enables to use this approach in the real mode of time. The results of testing offered approach are resulted for finding out seismic signals from earthquakes with hearths in the seismic active zone a of Vrancha.