

Ю.О. Гордієнко, к.т.н., інж.

Головний центр спеціального контролю ДКАУ

ПОЛЯРИЗАЦІЙНА ФІЛЬТРАЦІЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ДАНИХ ТРИКОМПОНЕНТНОЇ СЕЙСМІЧНОЇ СТАНЦІЇ

У роботі розглянуто спосіб поляризаційної фільтрації вимірювальних даних трикомпонентної сейсмічної станції без розрахунку коефіцієнта лінійності, що дозволяє використовувати даний підхід у реальному часі. Він також може бути застосований при вирішенні завдань безперервного моніторингу трикомпонентними сейсмічними станціями потенційних джерел надзвичайних подій природного та техногенного походження.

Постановка проблеми. Наявність на території України потенційних джерел надзвичайних подій (ПДНП) природного (сейсмоактивні зони) та техногенного (військові арсенали, атомні електростанції, потенційно небезпечні об'єкти та ін.) характеру зумовлюють необхідність проведення їх безперервного моніторингу.

Один із методів моніторингу ПДНП – сейсмічний, основними його перевагами є висока оперативність встановлення факту сейсмічної події та можливість проведення дистанційного моніторингу підконтрольних об'єктів (районів), що зменшує ризик для технічних засобів спостереження та обслуговуючого персоналу. В Україні установою, яка здійснює контроль технічними засобами за сейсмічною обстановкою, є Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства України (ДКАУ). Модернізація сейсмічних засобів спостереження, передачі та обробки вимірювальних даних, використання цифрової обробки інформації дозволяє перейти на якісно новий рівень моніторингу сейсмічної обстановки. Однак методологічні підходи, що використовуються в ГЦСК для обробки вимірювальних даних сейсмічного методу, ґрунтуються на алгоритмах «ручного» оброблення сигналів оператором, тим самим обмежують можливості мережі сейсмічних спостережень щодо вирішення поставлених завдань.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Одним із підходів до обробки вимірювальних даних трикомпонентної сейсмічної станції (ТКСС), що застосовується для підвищення відношення сигнал/шум у задачах моніторингу певних районів (об'єктів), є поляризаційна фільтрація (ПФ) [1–3].

Процедура ПФ полягає у перерахунку похідного запису вимірювальних даних ТКСС на певний напрямок:

$$p_i(\alpha, \gamma) = g_i G^{\alpha\gamma}, \quad (1)$$

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 відносно пункту спостереження (ПС), та визначається як [4]:

$$\begin{aligned} n &= \cos(\gamma) \cos(\alpha), \\ e &= \cos(\gamma) \sin(\alpha), \\ z &= \sin(\gamma). \end{aligned} \quad (2)$$

Однак пряме використання апарата ПФ не виключає впливу сигналів від сейсмічних подій з інших напрямків, що може призвести до помилкового визначення їх належності до події у підконтрольному районі.

На рисунку 1 наведено результати використання апарата ПФ для сейсмічного сигналу від землетрусу з території Туреччини (14.11.2010 р., $M = 5.1$) перерахованого на осередок землетрусу $\alpha = 156^\circ$, $\gamma = -52^\circ$ (рис. 1, а) та на зону Вранча $\alpha = 205^\circ$, $\gamma = -44^\circ$ (рис. 1, б).

Для зменшення впливу шумових коливань і сигналів з інших напрямків та слабо поляризованих (фонових) коливань в [1] запропоновано враховувати значення ступеня лінійності прийнятої реалізації та кутове положення головної півосі еліпсоїда відносно напрямку на підконтрольний район, для якого здійснюється ПФ, як:

$$p_i(\alpha, \gamma) = g_i G^{\alpha\gamma} G, \quad (3)$$

де G – вагова функція, яка визначається як:

$$G = G_1 G_2, \quad (4)$$

де G_1 – коефіцієнт лінійності ($0 < G_1 < 1$) прийнятої реалізації трикомпонентного запису, який знаходиться у такий спосіб:

$$G_1 = 1 - \frac{b}{a}, \tag{5}$$

де b та a – значення найменшої та найбільшої півосі еліпсоїда відповідно; G_2 – значення кута між положенням у просторі найбільшої півосі еліпсоїда a та напрямком на підконтрольний район (об’єкт).

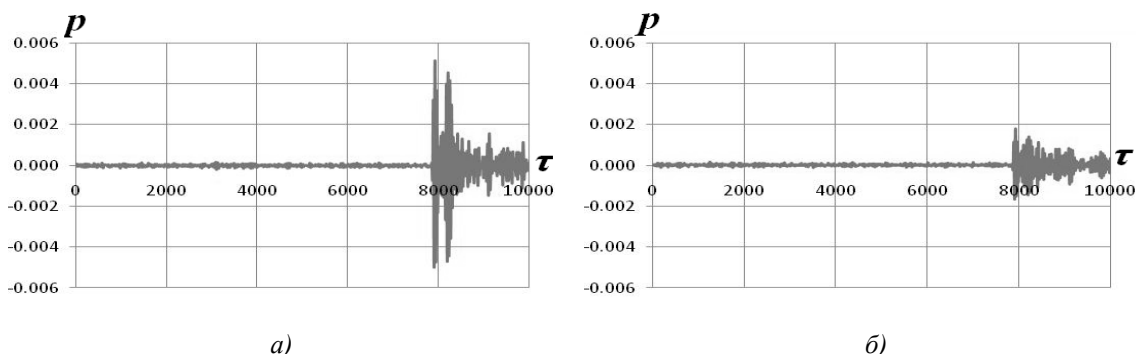


Рис. 1. Результат ПФ з параметрами куткових характеристик, який відповідає осередку землетрусу (а) та зоні Вранча (б)

Для підвищення характеристик вибіркості та прямолінійності ПФ оператор G використовують у такому вигляді [1]:

$$G = G_1^\mu \cdot G_2^\nu, \tag{6}$$

де μ та ν – експериментально підібрані константи.

На рисунку 2 наведено результати використання апарата ПФ за вказаним способом для сейсмічного сигналу від землетрусу з території Туреччини, перерахованого на осередок землетрусу (рис. 2, а) та на зону Вранча (рис. 2, б).

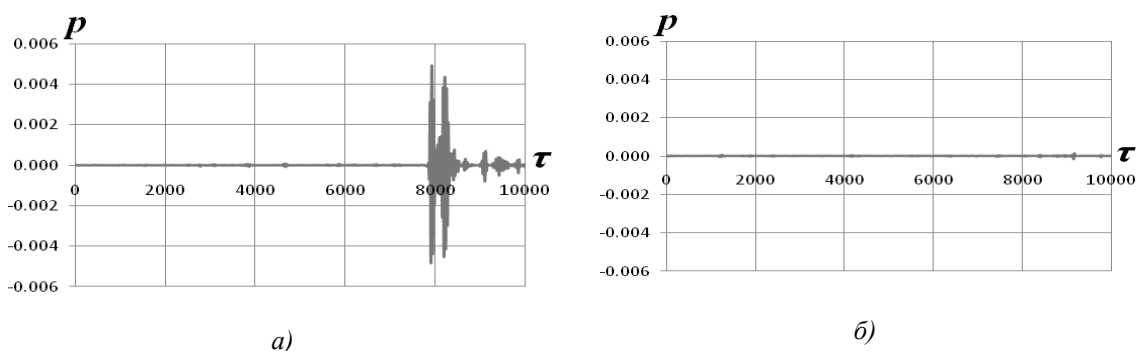


Рис. 2. Результат ПФ, який відповідає осередку землетрусу (а) та зоні Вранча (б)

Як видно з рисунку 2, врахування значення ступеня лінійності та кута між підконтрольним напрямком і положенням найбільшої півосі дозволяє зменшити вплив сигналів з інших напрямків. Однак реалізація моніторингу ПДНП за даним підходом потребує значних обчислювальних витрат, насамперед, для визначення коефіцієнта лінійності G_1 , що ускладнює його використання у реальному режимі часу. Тому даний підхід використовують лише для обробки даних у постоперативному режимі.

Метою статті є розробка методологічних підходів до реалізації процедури ПФ вимірjuвальних даних трикомпонентної станції у реальному режимі часу.

Викладення основного матеріалу досліджень. Траєкторія руху часток ґрунту при проходженні сейсмічної хвилі має форму дуже витягнутого еліпсоїда, а для фону – близьку до сфери [5]. Існуючі підходи щодо визначення коефіцієнта лінійності дозволяють чисельно оцінити, наскільки близько траєкторія руху часток ґрунту, що визначається прийнятою реалізацією сейсмічного запису, відповідає за формою еліпсоїду.

Траєкторія руху часток ґрунту у просторі, за результатами трикомпонентних спостережень, може бути описана набором векторів: $M_i\{z_i, e_i, n_i\}$, $i = 1...k$, де k – тривалість вибірки (рис. 3).

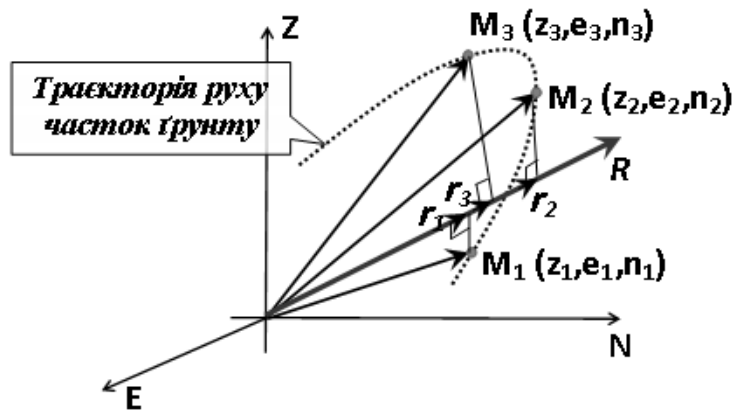


Рис. 3. Траєкторія руху часток ґрунту за результатами трикомпонентних спостережень

Проекція вектора M_i на напрямок R , для якого здійснюється процедура ПФ та задається одиничним вектором $r\{z, e, n\}$, являє собою модуль вектора r_i та визначається як [4]

$$|r_i| = M_i r = |M_i| |r| \cos(M_i \wedge r) \tag{7}$$

Оскільки вектор r одиничний, тобто $|r| = 1$, вираз (7) можна подати як:

$$|r_i| = |M_i| \cos(M_i \wedge r) = z_i z + e_i e + n_i n \tag{8}$$

У разі відповідності положення вектора M_i напрямку R виконується умова $|r_i| = |M_i|$, в інших випадках – $|r_i| < |M_i|$.

Для випадку прямолінійності руху коливань часток ґрунту, траєкторія якого описується набором векторів $M_i\{z_i, e_i, n_i\}$, вздовж напрямку R буде виконуватись умова:

$$\sum_{i=1}^k |r_i| = \sum_{i=1}^k |M_i| \tag{9}$$

Для інших випадків – прямолінійний рух за напрямком, що не відповідає напрямку R , або в разі відсутності прямолінійності руху (для фону) рівність (9) не виконується, тобто:

$$\sum_{i=1}^k |r_i| < \sum_{i=1}^k |M_i| \tag{10}$$

Виходячи з наведеного вище, за оцінку ступеня лінійності коливань та відповідності напрямку коливань пропонується ввести таку вагову функцію Y , яка визначається як:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^k |r_i|}{\sum_{i=1}^k |M_i|} \tag{11}$$

На рисунку 4 наведено варіанти траєкторії руху часток ґрунту для шуму (рис. 4, а) і сигналів (рис. 4, б, в), а також результати розрахунку відповідних коефіцієнтів за існуючими та запропонованими способами.

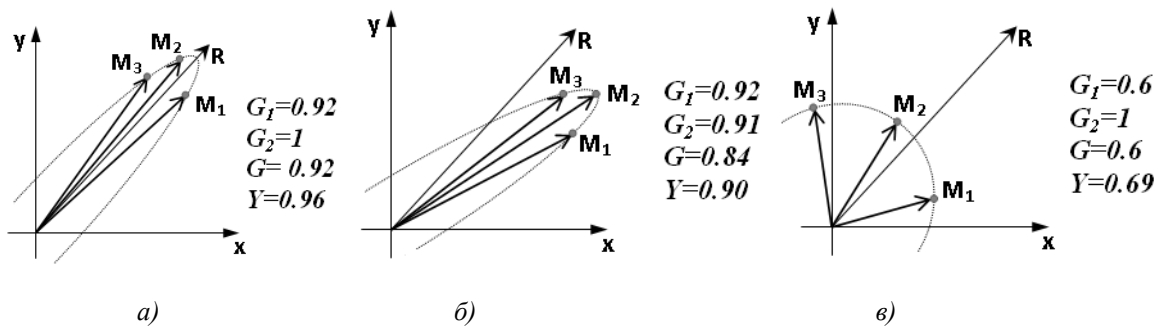


Рис. 4. Траєкторія руху часток ґрунту за результатами трикомпонентних спостережень для фону (а), сигналу з підконтрольного напрямку (б) та сигналу з іншого району (в)

Отже, запропонований спосіб дозволяє виявляти сейсмічні сигнали з підконтрольного напрямку та зменшувати вплив фонових коливань і сигналів з інших напрямків. Основною перевагою запропонованого способу є зменшення кількості обчислювальних операцій порівняно з існуючими способами при необхідній якості поляризаційної фільтрації.

Таким чином, для зменшення впливу шумових коливань та сигналів з інших напрямків та слабополяризованих (фонових) коливань, не здійснюючи додаткові розрахунки коефіцієнта лінійності та оцінки його кутового положення відносно підконтрольного напрямку, поляризаційну фільтрацію пропонується здійснювати як:

$$\rho_i(\alpha, \gamma) = g_i \cdot G^{\alpha\gamma} \cdot Y. \quad (12)$$

На рисунку 5 наведено характеристики вибіркості ТКСС, встановленої на ПС «Ворсівка» (Малинський р-н Житомирської обл.), при використанні апарату поляризаційного аналізу (1) і врахуванні вагових функцій, які визначають за виразами (3) та (12), при вирішенні завдань безперервного моніторингу сейсмоактивної зони Вранча (Румунська частина Карпат).

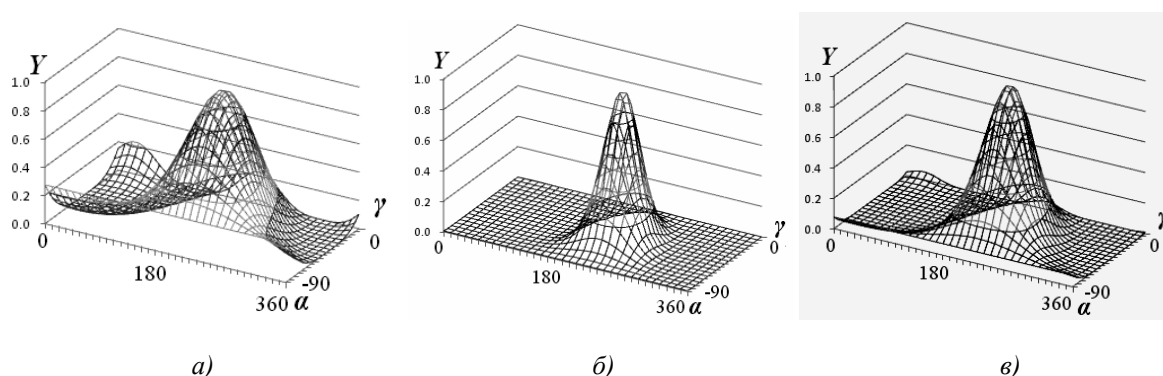


Рис. 5. Характеристики вибіркості ТКСС при використанні апарату поляризаційної фільтрації: а – за (1); б – за (3); в – за (12)

Для підвищення характеристик вибіркості та прямолінійності поляризаційного фільтра, оператор Y використовують у такому вигляді:

$$\rho_i(\alpha, \gamma) = g_i \cdot G^{\alpha\gamma} \cdot Y^\varepsilon, \quad (13)$$

де ε – експериментально підібрана константа.

Так, при значенні $\varepsilon = 2$ характеристики вибіркості поляризаційного фільтра, реалізованого за виразом (12), наближаються до характеристик вибіркості поляризаційного фільтра, реалізованого за виразом (3) при значенні коефіцієнтів вагової функції $\mu = 1$ та $\nu = 2$ (рис. 4, б).

Висновки. Запропонований спосіб ПФ вимірювальних даних ТКСС без розрахунку коефіцієнта лінійності та оцінки кутового положення максимуму функції відносно підконтрольного напрямку, що дозволяє використовувати даний підхід у реальному часі. При цьому характеристики вибіркості ТКСС при використанні запропонованого способу не гірші ніж при існуючих способах ПФ.

Запропонований підхід може бути застосований при вирішенні завдань безперервного моніторингу ТКСС потенційно небезпечних об'єктів та сейсмоактивних зон.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кедров О.К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний / О.К. Кедров – М. : Саранск : «Крас. Окт.», 2005. – 420 с.
2. Гринюк Ю.В. Використання поляризаційної фільтрації сейсмічних сигналів для покращення якісних показників їх виявлення / Ю.В. Гринюк, В.А. Кирилук, В.О. Сергійко // Збірник наукових праць ЖВІРЕ. – Житомир : ЖВІРЕ, 2004. – Вип. 8. – С. 124–129.
3. Алказ В.Г. Поляризационный анализ сейсмических колебаний / В.Г. Алказ, Н.И. Онофраш, А.И. Перельберг. – Кишинев : Штиница, 1977. – 110 с.
4. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – М. : Наука, 1972. – 872 с.

5. *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 / Технічні науки. – № 1 (52). – Житомир : ЖДТУ, 2010. – С. 67–71.

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

Наукові інтереси:

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

Подано 10.08.2011