

*Дяченко Д.В., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,
Солонець О.І., канд. техн. наук, пров. наук. співр., ХУПС,
Самарін В.О., викл., НУЦЗУ*

СПОСІБ ОБРОБКИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ДАНИХ СИСТЕМИ СЕЙСМІЧНОГО ГРУПУВАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ БЕЗПЕРЕРВНОГО МОНІТОРИНГУ ПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

(представлено д-ром техн. наук Куценком Л.М.)

Проведено аналіз методів обробки вимірювальних даних системи сейсмічного групування в рамках виконання завдань інформаційного забезпечення єдиної системи цивільного захисту про можливість та факт надзвичайної події, що створює сейсмічні збурення. Запропоновано підхід щодо безперервного моніторингу потенційних джерел надзвичайних ситуацій шляхом визначення функції взаємної кореляції між елементами системи сейсмічного групування та наведені результати його застосування для сейсмоактивної зони Вранча.

Ключові слова: система сейсмічного групування, моніторинг, надзвичайна ситуація

Постановка проблеми. Одним з природних явищ, які являють собою небезпеку для України, є землетруси. За кількістю людських жертв та матеріальних втрат, землетруси займають перше місце серед відомих стихійних лих [1]. У сейсмочутливих районах України, загальна площа яких становить близько 120 тис. км², а можлива інтенсивність коливань ґрунту на поверхні землі становить 6-8 балів за шкалою MSK-64, проживає майже 11 млн. населення і знаходиться до 300 хімічних та пожежонебезпечних об'єктів, густа мережа газо- і нафтопроводів, гідроспоруди та інші потенційно-небезпечні об'єкти. Таким чином, наявність на території України та суміжних держав потенційних джерел надзвичайних ситуацій (ПДНС) природного (сейсмоактивні зони) та техногенного (потенційно-небезпечні об'єкти) характеру зумовлюють необхідність безперервного моніторингу їх стану та оперативного за-

безпечення єдиної системи цивільного захисту інформацією про можливість та факт надзвичайної події [2-3].

В Україні одним із елементів системи дистанційного моніторингу ПДНС є система сейсмічного групування (ССГ) Головного центру спеціального контролю. На даний час основним напрямком застосування ССГ є виявлення сейсмічних сигналів в умовах відсутності апріорної інформації про місце події.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [2-4] проведені дослідження, що можуть бути покладені в основу прогностичних спостережень, які виконуються у межах функціонування Національної системи сейсмічних спостережень України, для оперативного забезпечення Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій інформацією про майбутній землетрус з осередком у сейсмонезбезпечному районі. Питанню обробки вимірювальних даних ССГ присвячено ряд робіт [4-8], проте основною метою досліджень було обрано підвищення відношення сигнал/шум, оцінка характеристик вибіркової ССГ, підвищення магнітудної чутливості ССГ та локація джерела сигналу. В роботі [8] розглянуто можливість одночасного моніторингу декількох сейсмоактивних зон, однак при цьому вплив сейсмічних сигналів від подій з осередками в інших районах не виключається.

Постановка завдання та його вирішення. Метою статті є вдосконалення методів обробки вимірювальних даних ССГ для виконання завдання безперервного моніторингу ПДНС з потрібною якістю.

На даний час для обробки вимірювальних даних ССГ основними є методи регульованого спрямованого прийому (МРСП) або формування діаграми спрямованості та метод кроскореляції (МКК). 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 ССГ, з відповідного напрямку, та подальшим їх складанням. Поточне значення на виході ССГ для обраного напрямку (району) визначається як

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

де x_i – елемент часового ряду, утвореного сейсмічним процесом, який відповідає зміщенню ґрунту на i -тому сейсмоприймачі ССГ; τ_{ik} – елемент матриці часової затримки на i -му елементі ССГ для k -го району; N – кількість елементів ССГ.

Застосування МКК полягає в поділенні сейсмічної групи на дві підгрупи. Для кожної підгрупи хвильові форми зареєстровані сейсмометрами складаються із затримками, що відповідають певному району. Вихідні сигнали з обох суматорів перемножуються. При застосуванні даного методу поточне значення на виході ССГ для обраного напрямку (району) визначається як

$$s_k(t) = \prod_{n=1}^2 \left(\frac{1}{L} \sum_{i=(n-1)L+1}^{L \times n} x_i(t + \tau_{ik}) \right), \quad (2)$$

де L – кількість елементів у підгрупі.

В роботі [7] розглядався метод обробки вимірювальних даних шляхом розбиття групи на три підгрупи (МКК₃). Даний спосіб дозволяє підвищити магнітудну чутливість ССГ, при цьому зберегти інформацію про особливості форми сейсмічного сигналу, що важливо для ідентифікації природи сейсмічної події. Для МКК₃ поточне значення на виході ССГ визначається як

$$s_k(t) = \prod_{n=1}^3 \left(\frac{1}{M} \sum_{i=(n-1)M+1}^{M \times n} x_i(t + \tau_{ik}) \right), \quad (3)$$

де M – кількість елементів у підгрупі.

Надалі, незалежно від методу обробки, здійснюється оцінка сигналу за формулою

$$S_k(T_0) = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_0}^{T_0 + \Delta T} |s_k(T_0 + t)| dt, \quad (4)$$

та оцінка шуму як

$$P_k(T_0) = \frac{1}{\Theta} \int_{T_0 - \Theta}^{T_0} |s_k(T_0 - \Theta + t)| dt, \quad (5)$$

де ΔT – найбільш ймовірний час тривалості сигнальної функції; Θ – час, що передуює сигналу, протягом якого оцінюється шум.

Відношення

$$\alpha_k(T_0) = \frac{S_k(T_0)}{P_k(T_0)} \quad (6)$$

приймається за оцінку відношення сигнал/шум.

Показником наявності сигналу вважається перевищення порогу $\alpha_k > h$. Значення порогу відповідно для кожного з методів обробки становить: $h_{\text{МРСП}} > 2.15$; $h_{\text{МКК}} > 14.1$; $h_{\text{МКК}_3} > 61.2$.

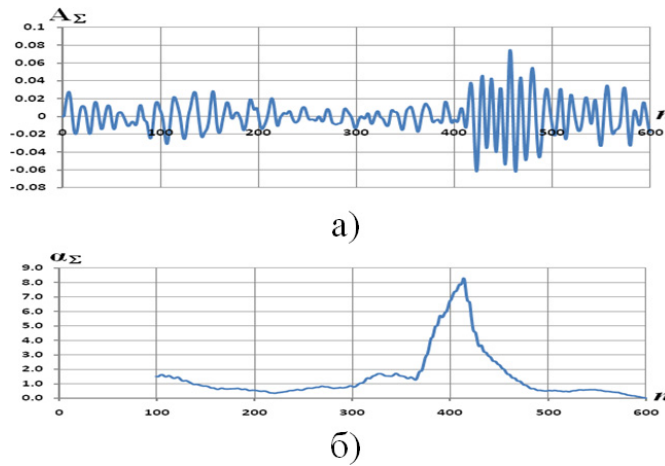


Рис. 1 – Хвильова форма на виході ССГ (а) та значення вирішальної функції (б) для методу МРСП

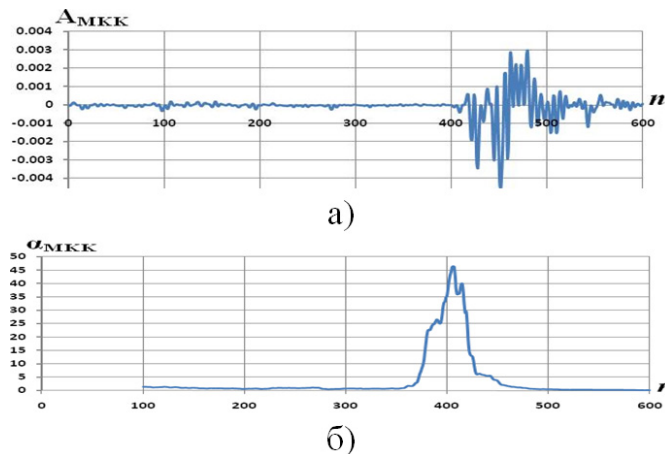


Рис. 2 – Хвильова форма на виході ССГ (а) та значення вирішальної функції (б) для методу МКК

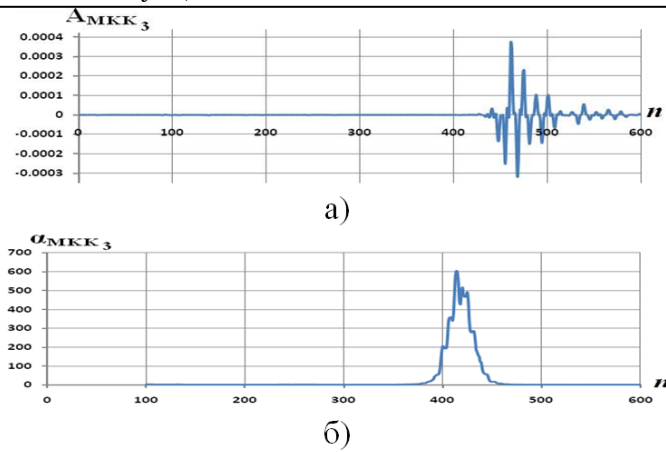


Рис. 3 – Хвильова форма на виході ССГ (а) та значення вирішальної функції (б) для методу МКК₃

Однак така реалізація вирішальної функції, при реалізації безперервного моніторингу певного району не вилучає вплив сейсмічних сигналів від подій з осередками у інших районах. На рисунках 1-3 приведено результати обробки вимірювальних даних ССГ за розглянутими методами для сейсмічного сигналу з осередком на території Туреччини, перерахованого для сейсмоактивної зони Вранча (румунська частина Карпат).

Аналіз показує, що використання існуючих методів при реалізації вирішальної функції (б) не дозволяє виключити вплив сейсмічних сигналів з інших районів.

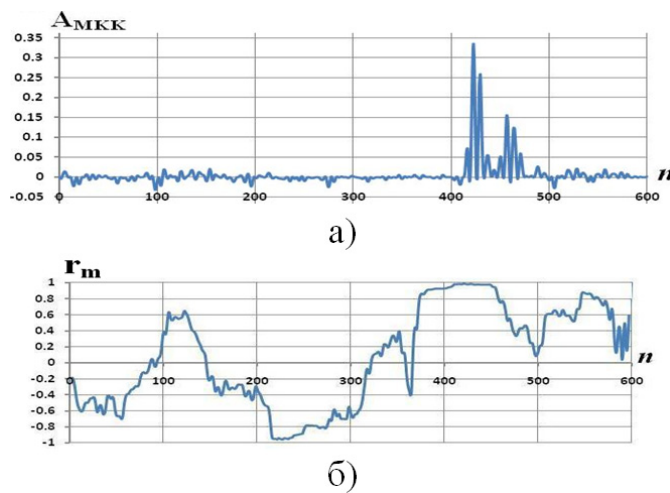


Рис. 4 – Хвильова форма сейсмічного запису на виході ССГ (а) та значення вирішальної функції (б)

Спосіб обробки вимірювальних даних системи сейсмічного групування для вирішення завдань безперервного моніторингу потенційних джерел надзвичайних ситуацій

Тому моніторинг сейсмічної обстановки з використанням ССГ реалізується шляхом перевірки гіпотез про відповідність сигналу певному району. Вибір конкретного району з усіх, для яких перевищено значення порогу, здійснюється шляхом пошуку максимальної оцінки сигналу (4). Наступним етапом є уточнення місцеположення осередку сейсмічної події в межах визначеного району.

Одним з напрямків зменшення впливу сейсмічних сигналів від інших джерел є перехід від оцінки відношення сигнал/шум (6) до оцінки функції взаємної кореляції між елементами ССГ. У цьому випадку в якості вирішальної функції пропонується використовувати функцію взаємної кореляції хвильових форм, зареєстрованих враховуючи часові затримки для певного району, як

$$r_m = \frac{\int_{t_1}^{t_2} x_{mi}(t + \tau_{mi}) \cdot x_{mj}(t + \tau_{mj}) dt}{\sqrt{\int_{t_1}^{t_2} x_{mi}^2(t + \tau_{mi}) dt} \cdot \sqrt{\int_{t_1}^{t_2} x_{jm}^2(t + \tau_{mj}) dt}}. \quad (7)$$

На рисунку 4 наведено результати обробки сейсмічного сигналу з осередком у зоні Вранча при використанні запропонованого підходу. На момент вступу сейсмічного сигналу вирішальна функція приймає значення $r_m = 0.992$.

Аналіз показує, що реалізація запропонованого способу обробки вимірювальних даних ССГ дозволяє виявляти сейсмічні сигнали з підконтрольного району, при цьому практично унеможливити вплив сигналів від сейсмічних подій з інших районів.

Висновки. Таким чином, для реалізації безперервного моніторингу ПДНС засобами ССГ пропонується перейти від оцінки відношення сигналу/шум до оцінки функції взаємної кореляції між елементами ССГ. Запропонований спосіб дозволить виявляти сигнали з підконтрольного району, при цьому суттєво зменшити вплив від сейсмічних подій з інших напрямків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века / В.И. Осипов // Вестн. РАН. – М.:2001, №4. – С. 291-302.
2. Ващенко В.М. Постановка проблеми виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій сейсмічними засобами / В.М. Ващенко, І.В. Толчонов, Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 2 (100). – С. 280-284.
3. Андрошук Р.А. Мережа геофізичних спостережень ГЦСК як інформаційний сегмент системи моніторингу надзвичайних ситуацій / Р.А. Андрошук, І.В. Толчонов, Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець // Системи управління, навігації та зв'язку : зб. наук. пр. – К.: ЦНДІ НіУ, 2011. – Вип. 2 (18). – С. 281-283.
4. Гордієнко Ю.О. Моніторинг сейсмонебезпечних 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.
5. Гордиенко Ю.А. Избирательные характеристики Украинской сейсмической группы при мониторинге сейсмоопасных районов в ближней зоне / Ю.А. Гордиенко, А.И. Солонец, И.Н. Сащук, В.Н. Шапка // Збірник наукових праць ЖВІРЕ. – Ж.: ЖВІРЕ, 2004. – Вип. 8. – С. 130-141.
6. Гордієнко Ю.О. Сучасні інформаційно-комп'ютерні технології та мережа сейсмічних спостережень ГЦСК щодо упередження максимального сейсмічного ефекту від землетрусу в ближній зоні / Ю.О. Гордієнко, В.М. Каплаушенко // Вісник ЖДТУ. – № 3 (38). – 2006. – С. 61-78.
7. Обробка геофізичних сигналів у сучасних автоматизованих комплексах : Навч. посібник / М.Ф. Пічугін, О.А. Машков, В.А. Кирилюк та ін. – Ж.: ЖВІРЕ, 2006. - 178 с.
8. Ващенко В.М. Алгоритм викриття ознак підготовки землетрусу з осередком у сейсмонебезпечних районах засобами системи сейсмічного групування ГЦСК НКАУ / В.М. Ващенко, Ю.О. Гордієнко, В.М. Мамарєв // Вісник Київського університету. Серія: фізико-математичні науки. – 2009. – Вип. 2. – С. 229-234.

Дяченко Д.В., Солонец А.И., Самарин В.А.

Способ обработки измерительных данных системы сейсмического группирования для решения задач непрерывного мониторинга потенциальных источников чрезвычайных ситуаций

В работе проведен анализ методов обработки измерительных данных системы сейсмического группирования в рамках выполнения задач информационного обеспечения единой системы гражданской защиты о возможности и факте чрезвычайного события, создающего сейсмические возмущения. Предложен подход к непрерывному мониторингу потенциальных источников чрезвычайных ситуаций путем определения функции взаимной корреляции между элементами системы сейсмического группирования и приведены результаты его применения для сейсмоактивной зоны Вранча.

Ключевые слова: система сейсмического группирования, мониторинг, чрезвычайная ситуация

Djachenko D.V., Solonets A.I., Samarin V.O.

The method of processing measurement data of the seismic grouping system for decision of continuous monitoring problems of potential sources of extraordinary situations

In the article the analysis methods of processing measurement data of the seismic grouping system within the framework of tasks implementation of the informative providing of the single system civil defense about possibility and fact of extraordinary event which creates seismic indignations is conducted. The approach to the continuous monitoring of extraordinary situations potential sources by determination of cross-correlation function between the elements of the seismic grouping system and the results of his application are resulted for the seismically active Vrancha area is offered.

Key words: network of seismic grouping, monitoring, extraordinary situations