

8. Стоєцький В.Ф., Дранишников Л.В., Єсипенко А.Д., Жартовський В.М., Найверт О.В. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки.–Тернопіль: Видавництво Астон, 2005.–408с.
9. The Model Documentation System / European Environment Agency. – <http://www.etcag.rivm.nl/databases/mds.html>.
10. Initiative on „Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes”. – <http://www.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/harmoni.html>.

УДК 621.375

*Доля Г.М., д-р техн. наук, проф., ХНУ,
Живчук В.Л., канд. техн. наук, ст. викл., ПВІЗ,
Катунін А.М., канд. техн. наук, ст. викл., ХУПС,
Садовий К.В., канд. техн. наук, ст. викл., ХУПС,
Щербак Г.В., канд. техн. наук, нач. каф., УЦЗУ*

ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛЬНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРІНГУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ ЗАСОБАМИ ЛАЗЕРНОЇ ВІБРОМЕТРІЇ

(представлено д-ром техн. наук Туркіним І.Б.)

Показано, що в задачах моніторингу надзвичайних ситуацій природного характеру, зокрема виявлення слабких сейсмічних сигналів, можливо застосування лазерних віброметрів з прямим фотодетектуванням. Обробка результатів експерименту проведена з використанням фрактальних методів аналізу часових рядів.

Постановка проблеми. У сучасному суспільстві величезна увага приділяється створенню ефективних систем, які призначені для захисту життя людей і матеріальних цінностей від наслідків надзвичайних ситуацій (НС) природного характеру. Це пояснюється тим фактом, що небезпека для життя, пов'язана з виникненням землетрусів, цунамі, ураганів тощо і збиток, який наноситься такими природними явищами, вельми значні.

Автоматичні системи моніторингу НС природного характеру повинні забезпечувати швидке і надійне виявлення природних

катаклізмів, що тільки зароджуються, за допомогою пристроїв розпізнавання слабких сейсмічних сигналів, які супроводжують ці явища. У разі їх виявлення центральна станція системи повинна відпрацювати певні дії з управління системами автоматики, що встановлені на об'єктах захисту (відключення вентиляційних систем, вмикання систем сповіщення, світлових і звукових оповіщувачів, зупинка ліфтів, розблокування дверей тощо). Це дає можливість людям, які знаходяться в будівлях, а також локальним постам охорони об'єктів або рятувальним підрозділам вжити заходів для мінімізації вірогідного збитку від НС природного характеру.

Призначення системи моніторингу НС природного характеру визначає її загальну структуру, а саме, наявність трьох складових, котрі виконують наступні функції:

- виявлення слабких сейсмічних сигналів на фоні шумів — здійснюється автоматичними детекторами з різними принципами спрацьовування, методами обробки і обміну інформацією;
- обробка інформації, яка потрапляє з детекторів і видача результатів оператору — виконується центральною станцією і пультом управління;
- виконання необхідних дій для сповіщення персоналу об'єкту захисту і рятувальних підрозділів для усунення можливих наслідків НС природного характеру, а також швидке і точне реагування локальних постів безпеки об'єкту — виконується центральною станцією.

Всі три ланки тісно взаємопов'язані між собою, і ефективність роботи системи безпеки об'єктів в цілому залежить від надійності і стабільності роботи кожної її складової. Проте, центральну роль при створенні таких систем відіграють детектори слабких сейсмічних сигналів. Саме вони повинні забезпечити швидке і надійне виявлення початку НС природного характеру, яка супроводжується додатковими негативними явищами (пожежі, затоплення тощо). Тому задача виявлення і класифікації слабких сигналів на фоні шуму в даний час є актуальною для побудови ефективних систем моніторингу НС природного характеру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначена задача класично розв'язується з використанням відомих статистичних методів. Разом з тим, поява відносно нового математичного апарату фрактальної обробки часових рядів [1, 2, 3] викликає інтерес щодо його використання для вирішення вказаної вище зада-

чі. Перспективність застосування означених методів аналізу наголошується в літературі [3]. При цьому, слід зауважити, що алгоритми виявлення корисного сигналу, котрі використовують його фрактальні ознаки, функціонують при низьких відносинах сигнал/шум (-30 дБ і нижче). Така ситуація, коли корисний сигнал може бути ледь помітним на фоні шумів характерна для початкової стадії зароджування НС природного характеру [1].

Постановка завдання та його вирішення. Розглянемо задачу експериментального обґрунтування можливості використання фрактальних методів аналізу слабких сейсмічних сигналів при різних відносинах сигнал/шум для побудови систем моніторингу НС природного характеру.

Сейсмічні коливання реєструвалися двома лазерними методами: прямим фотодетектуванням [4] і доплеровським [5]. Коливання імітувалися падінням важкого вантажу на землю на певному віддаленні від вимірювача. Для аналізу властивостей записаних сигналів проводилися обчислення фрактальної розмірності прийнятої реалізації.

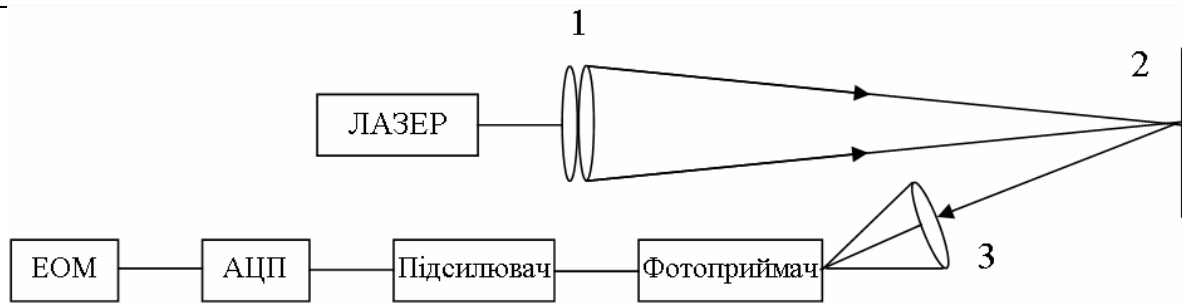
Як показано в [2], визначення розмірності більшості фрактальних кривих зазвичай пов'язано з великими обчислювальними витратами. Проте не важко обчислити фрактальну розмірність $D=2-H$ графіка зареєстрованої реалізації. Параметр H визначається за формулою:

$$\log \sigma_{ms}(\Delta X) = c + H \log |\Delta t|, \quad (1)$$

де $\sigma_{ms}(\Delta X)$ – стандартне середньоквадратичне відхилення (СКВ) приростів ΔX , які відповідають інтервалу Δt , c – константа. Цей метод припускає обчислення $\sigma_{ms}(\Delta X)$ для декількох інтервалів (в [2] рекомендується кількість інтервалів $P_{\max}=10$). Далі знаходяться коефіцієнти c і H інтерполяцією отриманих точок прямої за методом найменших квадратів [1].

Реєстрація коливань методом прямого фотодетектування реалізовувалася за схемою, що представлена на рис. 1.

Такий вимірювач реєструє кутові коливання досліджуваної поверхні 2. Як показано в [4], для отримання максимальної чутливості замість поверхні 2 може бути встановлений сейсмічний маятник.



1 – коліматор, 2 – світлоповертаюче покриття або дзеркало, 3 – лінза

Рис 1 – Схема лазерного вимірювача з прямим фотодетектуванням

При реєстрації слабких сейсмічних сигналів даним методом спостерігається лінійна залежність амплітуди сигналу фотоприймача (ФП) від амплітуди вимірюваних коливань. Корисний сигнал оцифровувався АЦП звукової плати ЕОМ з частотою 44100 Гц і записувався в файл для подальшого аналізу. Загальна довжина реалізації складала 673407 точок (15,27 сек). Фрактальна розмірність оцифрованого сигналу обчислювалася не для всієї реалізації, а для невеликого "плаваючого вікна", довжина якого вибиралася сумірною з характерним періодом коливань і складала 10000 відліків. При цьому, загальна кількість вікон становила 1000, а крок між ними (зсув уздовж осі часу) складав 673 відліки.

Для аналізу реалізації при різних відносинах сигнал/шум програмно проводилося додаткове зашумління записаного сигналу білим гауссовим шумом із заданим СКВ. В якості відношення сигнал/шум вибиралася величина $q = \frac{U_{\max}}{\sigma_m}$, де U_{\max} – амплітуда

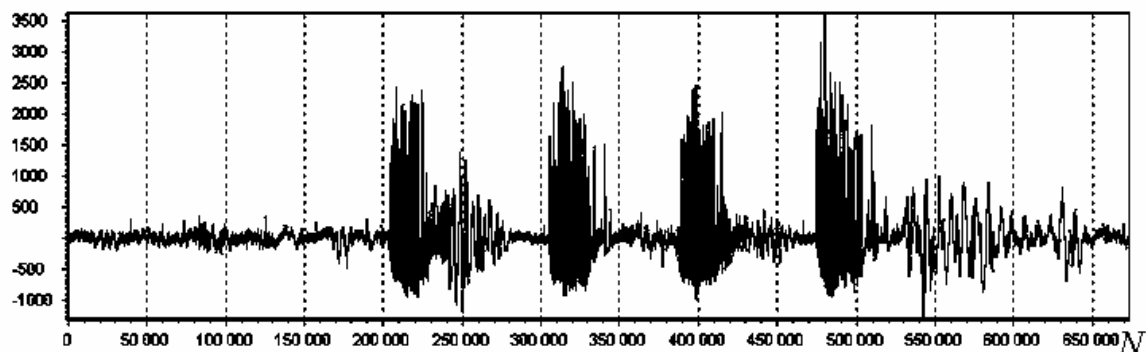
корисного сигналу, σ_m – СКВ шуму. Початковий сигнал записувався при $q=15$. Додатковим зашумлінням було сформовано ще п'ять реалізацій з $q=10; 8; 5; 2; 1$.

На рис.2 а показаний експериментально записаний сигнал ($q=15$). На рис.2 б представлено результати розрахунку фрактальної розмірності для "плаваючого вікна" з шириною 10000 відліків (0,2268 сек.) при $q=15; 10; 8; 5; 2; 1$ — криві 1...6, відповідно. По осі абсцис на рис.2 а — номер відліку записаного сигналу, а на рис.2 б — номер відліку, який відповідає центру вікна.

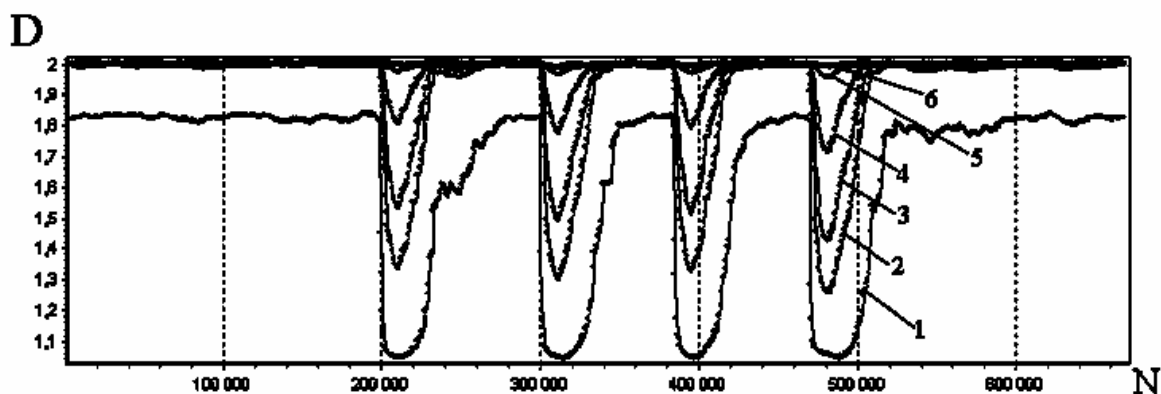
З графіків видно, що як тільки в правий край "плаваючого вікна" потрапляють ділянки реалізації, в яких присутні коливання (корисний сигнал), у цей момент відбувається стрибок фракта-

льної розмірності D . Помітна також тенденція до зменшення величини стрибка D (наближення до шумових флуктуацій) при зменшенні відношення сигнал/шум.

U , від. од.



а) експериментально зареєстрована реалізація



б) фрактальна розмірність при $q=15; 10; 8; 5; 2; 1$

Рис. 2 – Дослідження сигналу, записаного методом прямого фотодетектування

Висновки. Проведені експериментальні дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Простота і ефективність методу прямого фотодетектування для реєстрації слабких сейсмічних коливань при різних відношеннях сигнал/шум дозволяють рекомендувати метод, який реалізований в роботі експериментальної установки, для побудови ефективних систем моніторингу НС природного характеру.

2. Виявлення слабких сейсмічних сигналів можливе з використанням фрактальних методів. Стрибок фрактальної розмірності дає інформацію про появу корисного сигналу, тобто появу сейсмічних зрушень.

3. При зменшенні відношення сигнал/шум спостерігається зменшення величини стрибка фрактальної розмірності і наближення її до слабких шумових флуктуацій. В зв'язку з цим представляє інтерес дослідження порогових характеристик виявлення факту НС природного характеру фрактальними методами.

4. Разом із задачею виявлення НС, в подальшому цікаво дослідити питання класифікації (розпізнавання) сейсмічних сигналів фрактальними методами.

Таким чином в роботі експериментально підтверджено висунуте припущення про можливість використання фрактальних методів аналізу для виявлення слабких сейсмічних сигналів в рамках вирішення задач моніторингу НС природного характеру засобами лазерної віброметрії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Штеменко Ю.Н. Оптимальные статистические методы в сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 342 с.
2. Ричард М. Кроновер Фракталы и хаос в динамических системах. – М.: Техносфера, 2006. – 488 с.
3. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. – М.: Университетская книга, 2005. – 848 с.
4. Доля Г.Н., Карлов Д.В., Живчук В.Л. Метод измерения слабых сейсмических колебаний с использованием лазерной виброметрии с прямым фотодетектированием // Збірник наукових праць СВМІ. – 2003. – Вип. 3. – С. 11–16.
5. Застрогин Ю.Ф., Застрогин О.Ю., Кулебякин Ф.З. Лазерные приборы вибрационного контроля и точного позиционирования. – М.: Машиностроение, 1995. – 320 с.