

УДК 550.34.01

О. І. Бріцький

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

Ідентифікація руху важкої техніки та дій окремих видів зброї за їхніми сейсмічними ознаками

Представлено результати досліджень з використання кореляційного підходу для аналізу сейсмічних подій. За сейсмічні події обрано рух товарних потягів і постріли артилерії (мінометів і гаубиць) у локальних військових конфліктах. При цьому передбачено використання прецизійних сейсмометрів на основі цифрових лазерних інтерферометрів. Експериментально підтверджено можливість використання кореляційного аналізу для ідентифікації окремих сейсмічних подій військового характеру. При використанні декількох сейсмометрів можна реалізувати не тільки ідентифікацію, але й локацію очікуваних сейсмічних подій військового характеру.

Ключові слова: сейсмічні портрети, кореляційний аналіз, прецизійні сейсмометри, цифрові лазерні інтерферометри.

Постановка проблеми

Останнім часом проблемі ідентифікації динамічних подій за їхніми сейсмічними ознаками приділяється значна увага. Це стосується виявлення руху людей чи автомобільної техніки [1]. При цьому використовується аналіз огинаючих спектрів чи самих досліджуваних сейсмічних сигналів. Використання адаптивної цифрової фільтрації для аналізу сейсмічних подій пропонується в [2, 3].

Окремою темою є аналіз подій у локальних військових конфліктах методами сейсмології. Такі події як, наприклад, постріл міномета, гармати, рух важкої техніки важко замаскувати радіоелектронними чи оптичними методами.

У [4, 5] такі дослідження започатковані фахівцями США із використанням обладнання Багдадської сейсмічної обсерваторії під час військових подій в Іраку в 2006 році. В роботах показана якісна відмінність у частотних спектрах подій, звертається увага на можливість ідентифікації різних подій військового характеру методами сейсмології.

При використанні сучасних прецизійних сейсмологічних приладів можна стверджувати про можливість локації і ідентифікації таких подій. Важливим також

є те, що швидкість розповсюдження сейсмічних хвиль більша ніж швидкість польоту міни чи снаряду. Тому інформацію про постріл можна отримати раніше його вражаючої дії. Одним із таких прецизійних приладів є розроблений в ІПРІ НАН України сейсмометр, побудований на основі цифрового лазерного інтерферометра [6]. Він дозволяє вимірювати зміщення земної поверхні в діапазоні частот від 0 Гц з розрізнявальною здатністю не гірше 1,6 нм. Оцінку швидкості та прискорення сейсмічних процесів можна отримати за допомогою цифрових фільтрів.

Попередні дослідження, проведені автором, свідчать про доцільність використання прецизійних сейсмологічних приладів для вирішення задач ідентифікації сейсмічних подій методами кореляційного аналізу. Такий підхід недостатньо відображений у науковій літературі, але може бути корисним для підвищення якості ідентифікації сейсмічних подій військового характеру.

Мета роботи

Експериментально підтвердити можливість використання кореляційного методу для ідентифікації окремих сейсмічних подій військового характеру при використанні прецизійних сейсмометрів на основі цифрових лазерних інтерферометрів.

Виклад основних результатів дослідження

Кореляційний аналіз процесів за темою статті потребує наявності двох часових залежностей, перша з яких є портретом сейсмічного явища, а друга — самим процесом, на множині значень якого виявляється це явище.

Вираз для обчислення взаємкореляційної функції двох процесів є класичним і має вигляд

$$R_{x,y}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) y(t + \tau) d\tau, \quad (1)$$

або в дискретному вигляді

$$h_j = \sum_{k=0}^{N-1} x_k y_{j+k}, \quad (2)$$

де x_k та y_k є портретом і досліджуваним процесом відповідно

Дискретизація сигналів у виразі (1) проводилася з урахуванням їхніх ефективних смуг спектрів і становила 2 кГц.

У [7] отримано сейсмічні портрети руху приміського та вантажного потягів (як прикладів руху важкої техніки), а також пострілів мінометів калібру 120 мм гаубиці Д-30. Останні отримані при проведенні навчань з бойовою стрільбою на військовому полігоні.

Приклади кореляційного аналізу процесів із використанням сейсмічних портретів подано нижче на рисунках.

На рис. 1 явно існують два максимуми: в 1 год. 18 хв. і в 3 год. 16 хв. Тому можна стверджувати про те, що чотири дні тому від 05.08.2016 через залізничну станцію Клавдієво – Тарасово проходили потяги, сейсмічні портрети яких записано 05.08.2016 р.

Цікавий результат зображено на рис. 2. Сейсмічний портрет вантажного потягу записано 20.07.16 р. і зображено на рис. 2,*а*. Запис було зроблено у нічний час практично без завад. На рис. 2,*б* зображено запис від 05.08.16 р. в умовах існування завад. Виникло питання про виявлення потягів, подібних тому, сейсмічний портрет якого було записано 20.07.16 р. На рис. 2,*в* показано, що взаємнокореляційна функція двох процесів виявила потяги із сейсмічним портретом, зображеним на рис 2,*а*.

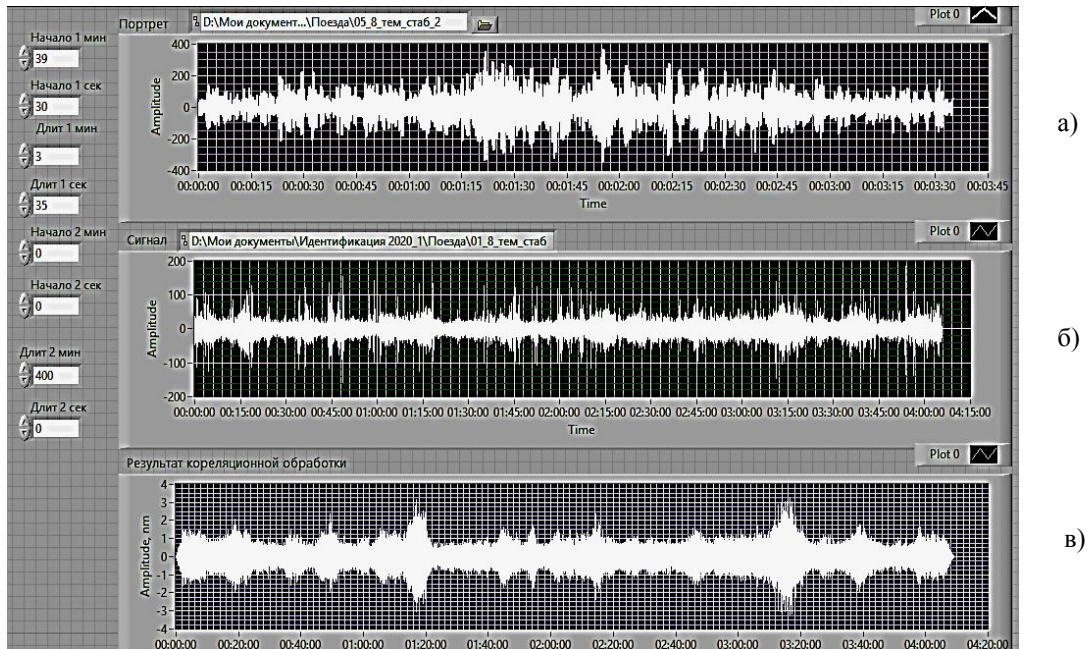


Рис. 1. Результат кореляційного аналізу. Пошук вантажних потягів у минулому записі за сейсмічним портретом:
 а) сейсмічний портрет від 05.08.2016; б) запис поточного руху потягів по ст. Клавдієво – Тарасово від 01.08.2016;
 в) результат кореляційної обробки процесів а) і б)

Складність проведення експерименту в умовах військового полігону полягала в особливостях програми стрільб. Це примушувало моделювати віддалення від району стрільб мінометів калібру 120 мм зменшенням амплітуди записаних сигналів і їхнім зашумленням зафарбованим білим шумом. Це зображено на рис. 3. При цьому сейсмічний портрет пострілу міномета (рис. 3,*а*) був отриманий в умовах без завад. На рис. 3,*б* сигнал пострілу міномета виявити практично неможливо. Він з'являється після кореляційної обробки портрета і записаного сигналу. Відносний час пострілу — 5 хв. 25 с.

Всього було проаналізовано 7 пострілів міномета калібру 120 мм. Отримані результати подібні тим, які зображені на рис. 3.

На рис. 4 зображений один із результатів виявлення пострілів гаубиці Д-30 шляхом використання сейсмічного аналізу.

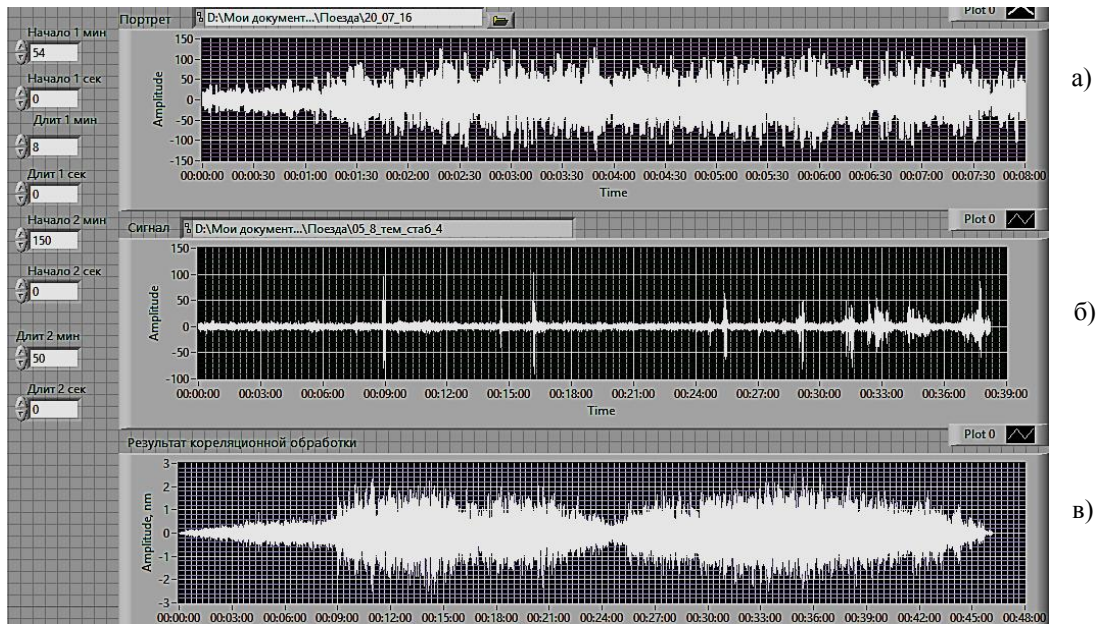


Рис. 2. Результат кореляційного аналізу. Пошук вантажних потягів за сейсмічним портретом:
а) сейсмічний портрет від 20.07.2016;
б) запис поточного руху потягів по ст. Клавдієво – Тарасово від 05.08.2016;
в) результат кореляційної обробки процесів а) і б)

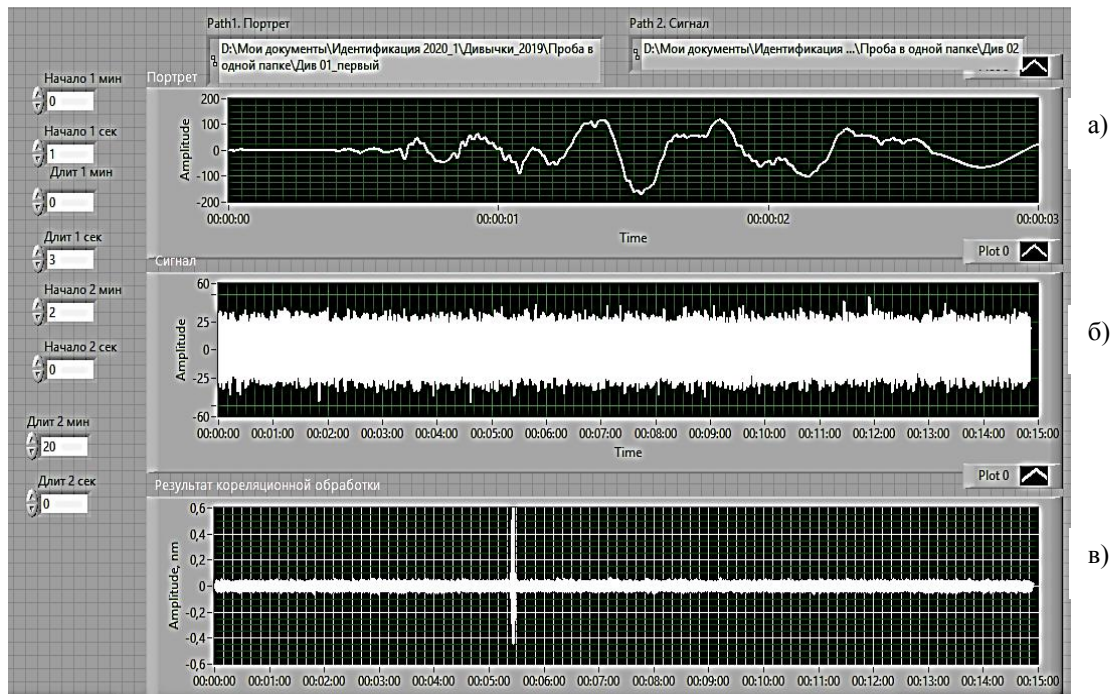


Рис. 3. Результат кореляційного аналізу. Пошук пострілу міномета у записі за сейсмічним портретом: а) сейсмічний портрет від 25.06.2019;
б) запис пострілу міномета в умовах завад;
в) результат кореляційної обробки процесів а) і б)

Виявлення проводилося також в умовах завад. Постріли зафіксовано в 02 хв. та в 04 хв. 5 с. (відносний час), що відповідає реальним подіям, зафіксованим акустично.

Фіксувалися також і змішані події (постріли міномета та гаубиці за час спостереження).

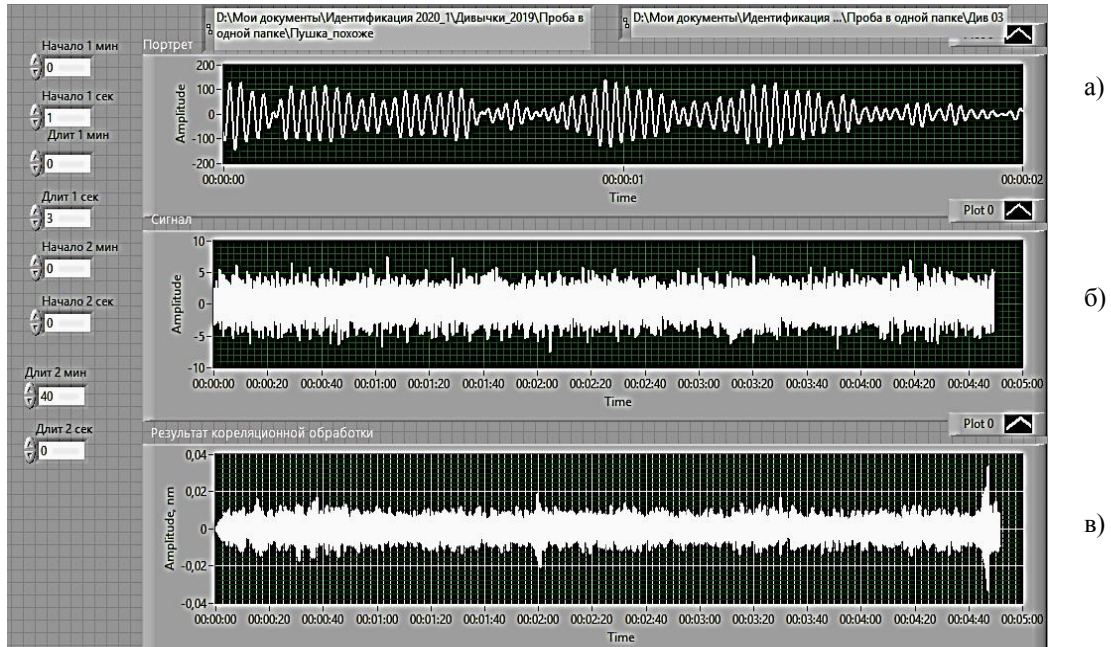


Рис. 4. Результат кореляційного аналізу. Пошук пострілу гаубиці у записі за сейсмічним портретом: а) сейсмічний портрет від 25.06.2019; б) запис пострілу гаубиці в умовах завад; в) результат кореляційної обробки процесів а) і б)

Висновки

1. Автор залишає за межами статті питання розробки програмного забезпечення і програмно-апаратного комплексу в цілому для кореляційного аналізу сейсмічних подій. Подаються лише результати досліджень і їхній аналіз.

2. Рух важкої техніки може бути ідентифікований методами кореляційного аналізу із використанням прецизійних сейсмологічних приладів, побудованих на основі цифрових лазерних інтерферометрів. Зважаючи на припущення та обмеження при дослідженні руху важкої техніки (використання руху вантажних залізничних потягів замість колісної і гусеничної бойової техніки), доцільно провести окремі дослідження, не зважаючи на складність відповідних узгоджень з посадовими особами Міністерства Оборони України.

3. Після побудови банку сейсмічних портретів можна проводити не тільки ідентифікацію руху важкої техніки online, але виявляти її за сейсмічними записами в минулому.

4. Важливою є ідентифікація пострілів артилерійської зброї, у тому числі, і в умовах сейсмічних завад, що притаманно реальній обстановці. Сутність питання

полягає в тому, що швидкість розповсюдження поверхневої сейсмічної хвилі в декілька разів більша за швидкість польоту міни (снаряду).

Тому сейсмічна інформація про постріл надійде на декілька секунд (десятків секунд) раніше за приліт боеприпасу. Цього може бути достатньо для зайняття місця в укритті. Вартість вирішення цього питання знаходиться у межах \$100 (вертикальний геофон і мінімальне електронне обладнання). При використанні двох прецизійних сейсмометрів на основі цифрової лазерної інтерферометрії можна виконати локацію джерела пострілу для організації контрбатарейної боротьби.

1. Морозов Ю.В., Спектор А.А. Классификация объектов на основе анализа спектральных характеристик огибающих сейсмических сигналов. *Автометрия*. 2017. Т. 53, № 6. С. 49–56. DOI: 10.15372/AUT20170606.

2. Красовский А.А. Цифровая обработка в ZETLAB при идентификации параметров сейсмического сигнала. *Цифровая обработка сигналов*. 2010. № 3. С. 70–76.

3. Козлов Э.В., Левковская Т.В. Выделение информативных признаков сигналов сейсмических сенсоров пассивной локации. *Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики*. 2010. № 6(70). С. 36–40.

4. How Earthquake Scientists In Missouri Stumbled On Military Blasts in Iraq. URL: <https://www.buzzfeednews.com/article/danvergano/warfare-seismology> (Дата звернення: 03.07.2020 р.).

5. / Ghassan I. Aleqabi, Michael E. Wyssession, and Hafidh A.A. Ghalib. Characterization of Seismic Sources from Military Operations in Urban Terrain (MOUT): Examples from Baghdad. *Bulletin of the Seismological Society of America*. February 2015. Vol. 106. No. 1. doi: 10.1785/0120140187.

6. Oleksander I. Britsky, Ivan V. Gorbov, Viacheslav V. Petrov, Iryna V. Balagura. A compact semiconductor digital interferometer and its applications. *Proc. SPIE 9506. Optical Sensors*. 2015. Vol. 9506. 7 p. doi: 10.1117/12.2178476.

7. Бріцький О.І. Спектральні і часові особливості сейсмічних подій під час руху важкої техніки та дії окремих видів зброї. *Рєєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2020. Т. 22. № 1. С. 23–30. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2020.1.1.207764>.

Надійшла до редакції 17.08.2020