

DOI: 10.35681/1560-9189.2020.1.1.207764

УДК 550.34.01

**О. І. Бріцький**

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

## **Спектральні і часові особливості сейсмічних подій під час руху важкої техніки та дії окремих видів зброї**

*Отримано та проаналізовано експериментальні сейсмограми від руху важкої техніки і дії окремих видів зброї. Дослідження проведено в польових умовах і на військовому полігоні із використанням цифрових лазерних інтерферометрів. Виявлено часові та спектральні характеристики сейсмограм досліджуваних процесів. Отримані сейсмічні портрети буде використано при вирішенні задач ідентифікації і локації відповідних джерел сигналів.*

**Ключові слова:** рух важкої техніки, постріли окремих видів зброї, спектральні та часові особливості сейсмічних подій, сейсмометри з цифровими лазерними інтерферометрами.

### **Постановка проблеми**

На сьогодні при дослідженні сейсмічних подій різного походження застосовуються різноманітні прилади, в основі яких використовуються сейсмодатчики, призначені для вимірювання прискорення, швидкості чи зміщення у відповідному середовищі. При проведенні традиційних досліджень у сейсмології, при дослідженні техногенних катастроф, вібрацій на промислових об'єктах напрацьовано значний досвід використання сейсмометрів і віброметрів у потрібних частотних діапазонах.

Водночас, враховуючи події останніх років, зростає актуальність досліджень, спрямованих на виявлення руху важкої військової техніки, залізничних потягів, пострілів мінометів і т.п. сейсмічними методами. Це, в першу чергу, пояснюється складністю їхнього маскування. Результати об'ємних досліджень, близьких до теми роботи, опубліковані, наприклад у [1], але вони виконані на базі Багдадської сейсмічної обсерваторії на існуючому там обладнанні, яке можна кваліфікувати як стаціонарне та призначене для наукових досліджень. У роботах [2–5] розглядаються питання побудови еталонних сейсмічних моделей (портретів) руху людей і автомобілів для охоронних систем. При цьому пропонується використання кореляційної обробки сейсмічних сигналів за огинаючими портретів. Такий підхід призводить до втрати інформації про «тонку структуру сигналу». Водно-

час питання використання сейсмологічних приладів із вимірювальними пристроями на основі цифрових лазерних інтерферометрів, які б дозволили виконати ідентифікацію сейсмічних джерел, не розглядалися.

## Мета роботи

Проаналізувати часове та частотне представлення специфічних сейсмічних подій військового характеру, отримане із використанням сейсмометрів з цифровими лазерними інтерферометрами та розробити пропозиції щодо ідентифікації таких подій.

## Виклад основних результатів дослідження

Розроблені в ІПРІ НАН України сейсмометри з вимірювальними пристроями на основі цифрових лазерних інтерферометрів мають ряд особливостей порівняно з існуючими. Головною особливістю є вимірювання зміщень земної поверхні, а не швидкостей чи прискорень, що збільшує інформативність виміряних сигналів і розширює частотний діапазон вимірювань майже до 0 Гц. Важливою особливістю є висока точність вимірювань із розрізнявальною здатністю 1,6 нм і вище [6]. Особливістю є також чутливість таких сейсмометрів до змін гравітації в інфрачастотному діапазоні. Тому результати вимірів потрібно обмежувати потрібним діапазоном частот відповідним фільтром.

Упродовж останніх 5 років автором було проведена низка експериментальних досліджень сейсмічних подій різного походження. Вимірювальні пристрої, а саме сейсмометри із вбудованими цифровими лазерними інтерферометрами, розташовувалися в Макарівському районі Київській області. Експериментальні дослідження проводились у польових умовах на відстані 5 км до найближчої залізничної вітки у точці з координатами 50.551918, 29.920054 (рис. 1).

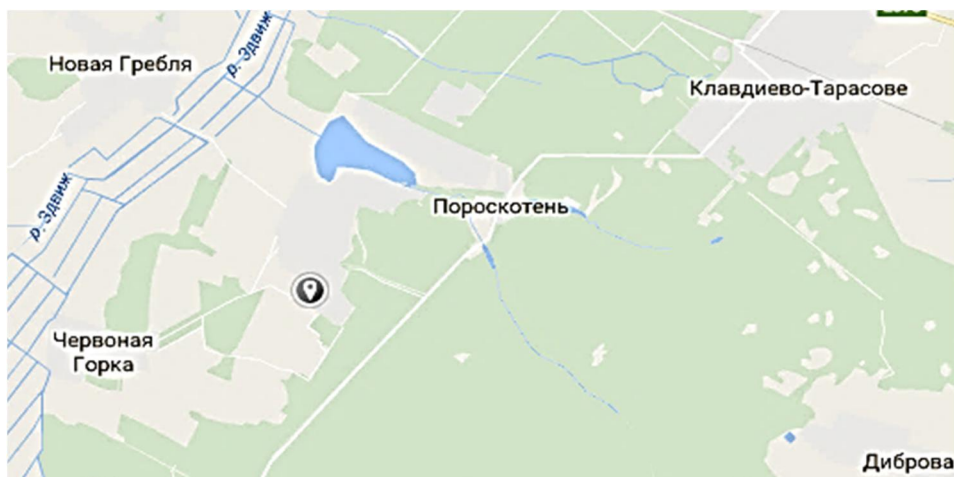


Рис. 1. Мапа розташування місця проведення експериментальних досліджень

За рух важкої військової техніки розглядався рух залізничних потягів.

Записи фіксувалися з частотою 100 Гц протягом 3 діб неперервно і окремо по 4–8 годин. При цьому зафіксовано рух приміських потягів по станціях Боро-

дянка, Клавдієво, Немішаєво, який відповідає розкладу руху потягів, а також рух пасажирських і вантажних потягів (рис. 2)

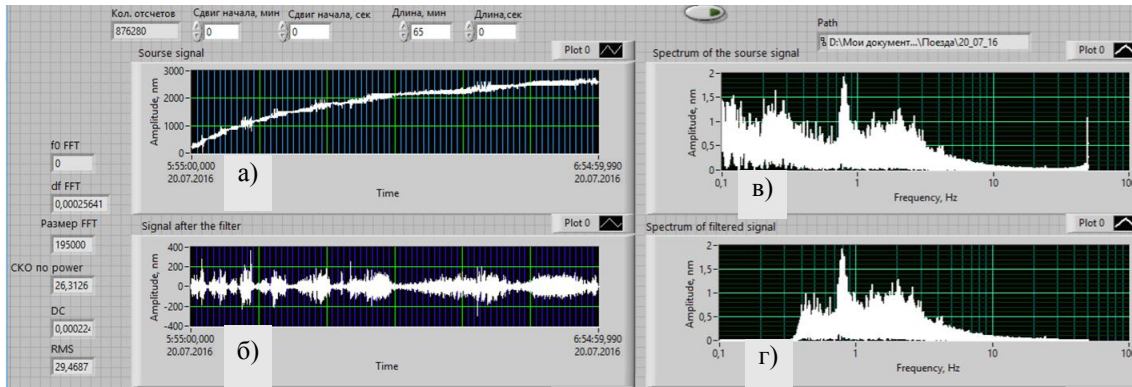


Рис. 2. Результати спостереження руху потягів вертикальним сейсмометром:  
 а) реальний запис; б) результати в діапазоні 0,4...30 Гц після фільтрації;  
 в), г) відповідні амплітудно-частотні спектри

Рис. 2,б є показовим: у лівій половині спостерігається рух приміських потягів, а в правій — рух вантажного та пасажирського потягів. Розглянемо фрагменти рис. 2 детальніше. На рис. 3 зображена сейсмограма руху приміського потягу.

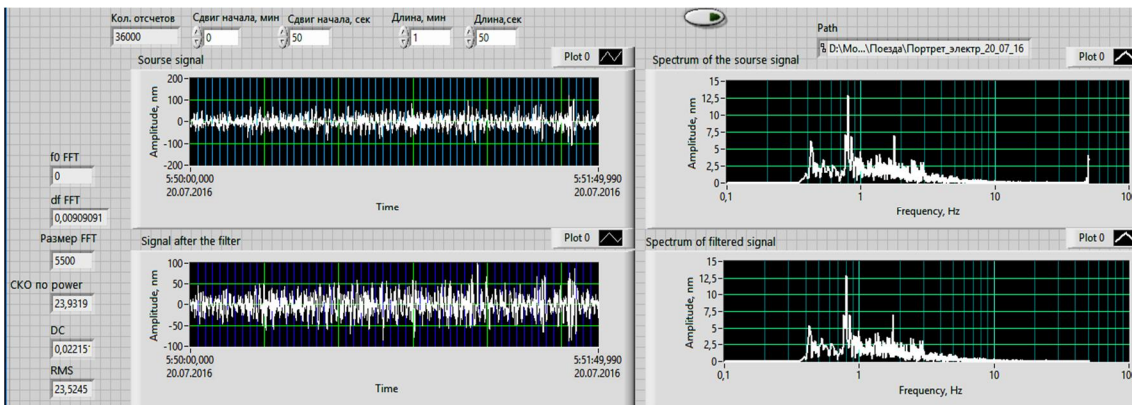


Рис. 3. Сейсмограма руху приміського потягу

Таку сейсмограму можна розглядати як портрет руху потягу і надалі використовувати для вирішення задач ідентифікації рухомих об'єктів. Аналогічно можна розглядати сейсмограму вантажного потягу (рис. 4).

Порівнюючи результати досліджень, зображені на рис. 3 і рис. 4, можна зробити висновок про те, що сейсмограми руху потягів мають подібний діапазон суттєвих частот спектрів, але відрізняються тривалостями, що можна використати при ідентифікації сейсмічних подій.

Важливі результати були отримані при проведенні навчань із бойовою стрільбою на військовому полігоні смт Дівички 25 червня 2019 року. Стрільби виконали міномети калібру 120 мм і гаубиці Д-30.

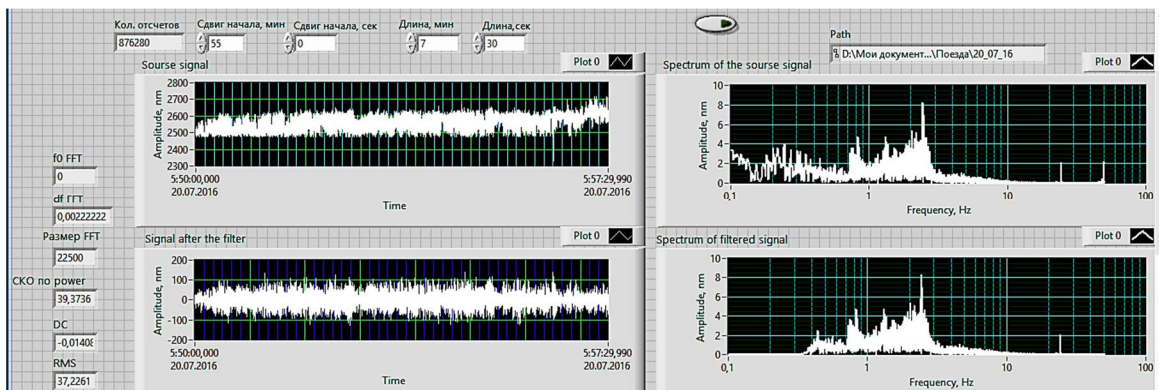


Рис. 4. Сейсмограма руху вантажного потягу

Завдання дослідження полягало в побудові сейсмічних портретів пострілів мінометів і гаубиць. Програмно-апаратний комплекс був налаштований на частоту дискретизації 2 кГц з урахуванням швидкоплинності досліджуваних процесів.

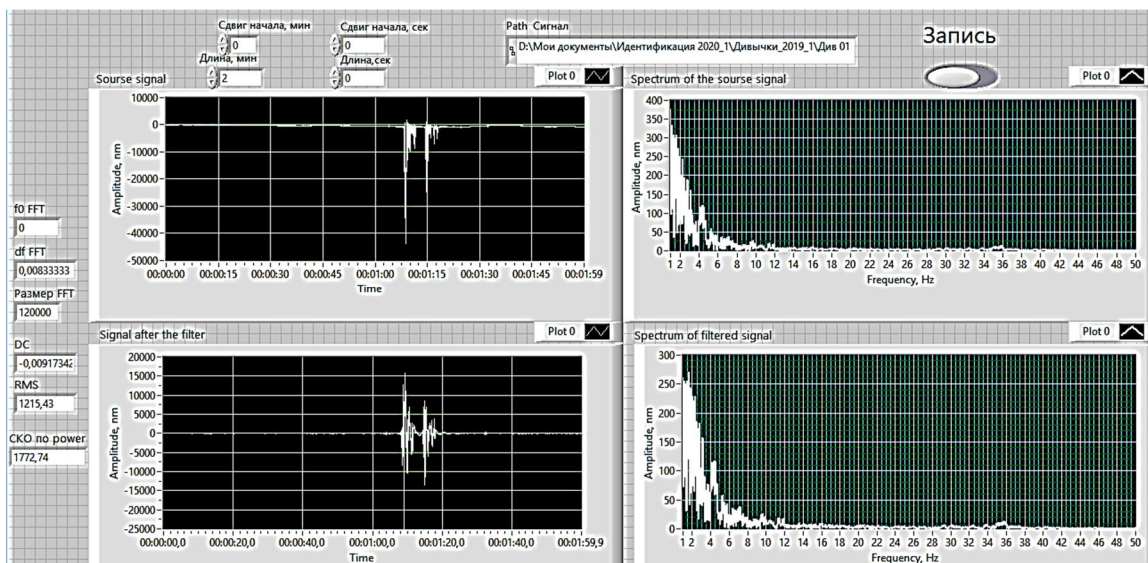


Рис. 5. Запис пострілів двох мінометів різними зарядами

За сейсмічний портрет обрано запис пострілу першого міномета (рис. 6).

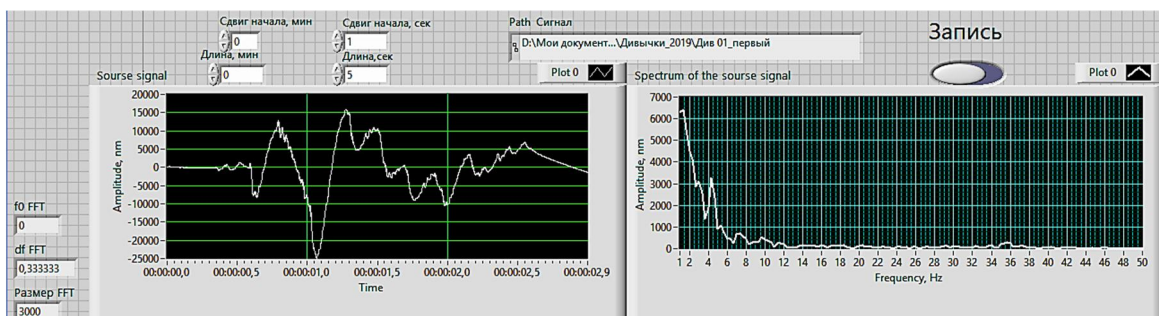


Рис. 6. Сейсмічний портрет пострілу міномета калібру 120 мм

На рис. 7 показані сейсмограми пострілів мінометів при більшій відстані до позиції і постріл гаубиці

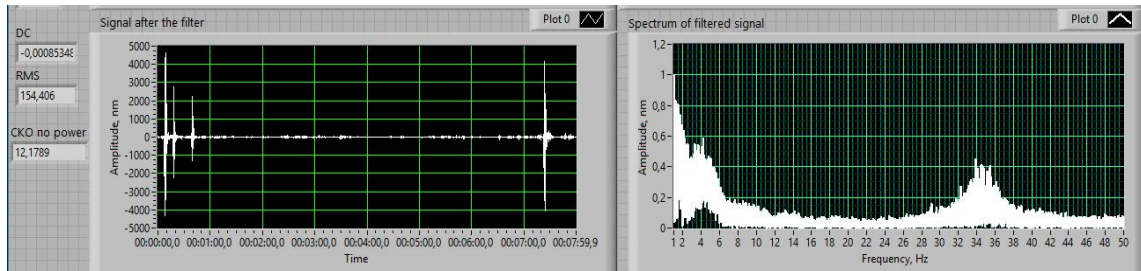


Рис. 7. Сейсмограми пострілів мінометів калібру 120 мм на відстані близько 3 км від позиції при використанні середнього заряду та пострілу гаубиці

Порівнюючи результати, зображені на рис. 5, 6, 7, можна зробити висновок, що опорна плита міномета після пострілу збуджує короткотривалі сейсмічні хвилі в низькочастотному діапазоні до 15 Гц.

На наступному рис. 8 показано результати обробки запису пострілів гаубиці.

Результати обробки свідчать про те, що ефективна смуга частот спектра знаходиться в діапазоні 28...44 Гц, а самі сигнали є короткотривалими.

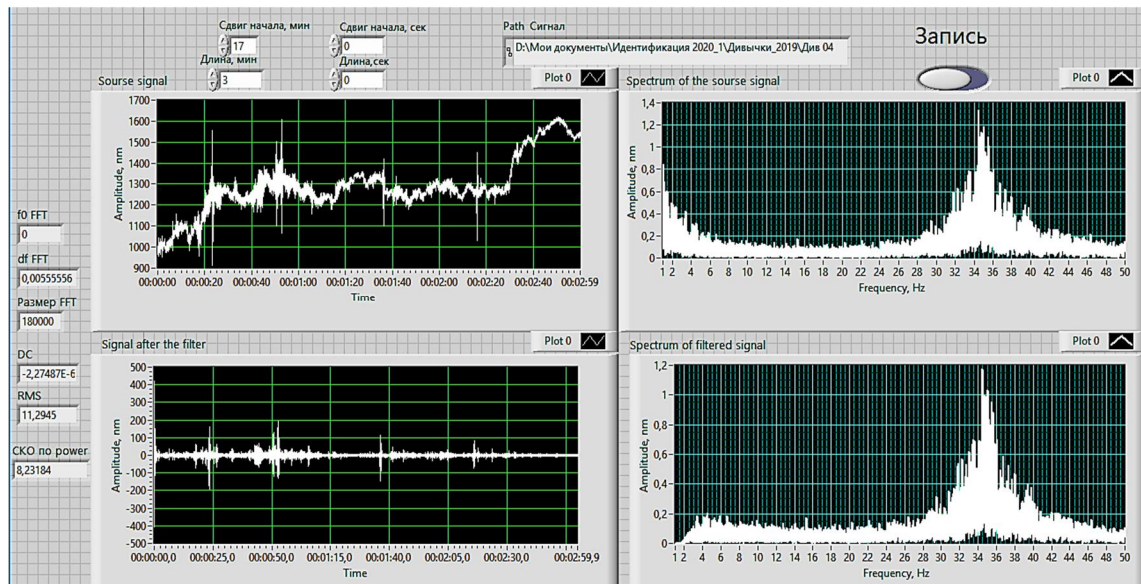


Рис. 8. Фрагмент запису пострілів гаубиці та їхній амплітудно-частотний спектр

Результати обробки сейсмограми окремого пострілу гаубиці зображено на рис. 9. Отриманий результат можна розглядати як сейсмічний портрет і використовувати його для подальших досліджень.

На рис. 10 показано перевагу сейсмометрів з цифровими лазерними інтерферометрами над звичайними, які вимірюють швидкість сейсмічних процесів.

Оцінку сигналу швидкості отримано як першу різницю сигналу зміщення, а її амплітудно-частотний спектр дає перевагу сейсмічному сигналу від пострілу гаубиці, а не міномета.

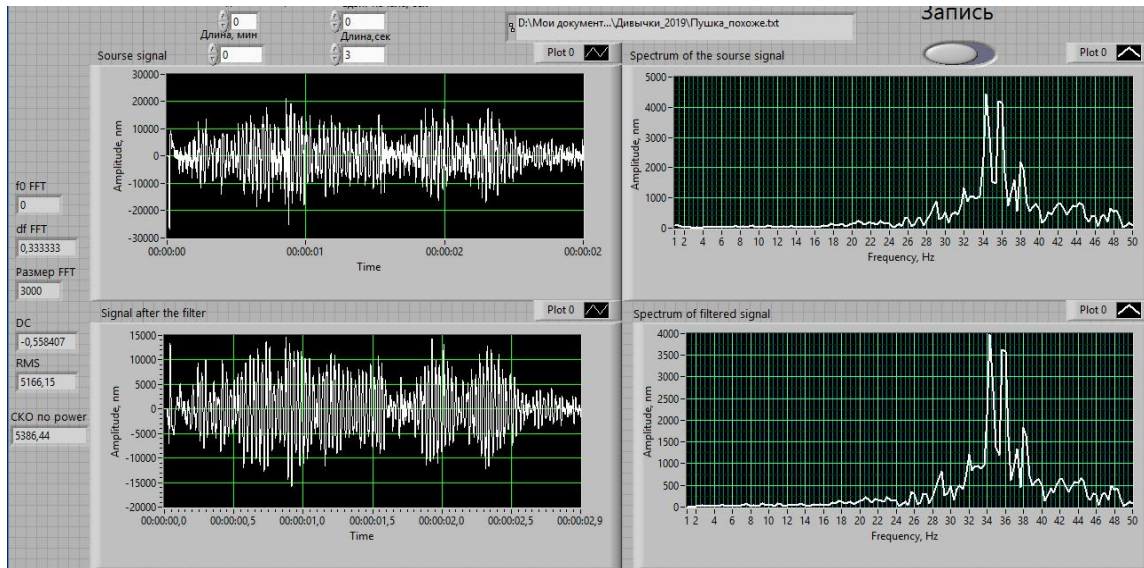


Рис. 9. Сейсмічний портрет пострілу гаубиці та його амплітудно-частотний спектр

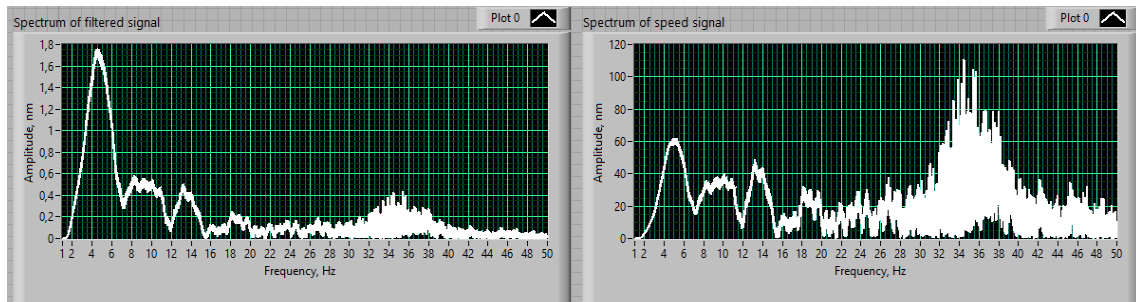


Рис. 10. Амплітудно-частотні спектри сигналів зміщення та швидкості відповідно до рис. 7

## Висновки

1. Використання сейсмометрів із цифровими лазерними інтерферометрами дозволяє адекватно оцінити сейсмічні події, спричинені рухом важкої техніки та діями окремих видів зброї. На якісному рівні такі події відрізняються тривалістю у часі та смугою ефективних частот спектра.

2. Висока розрізнявальна здатність таких сейсмометрів дає змогу створити сейсмічні портрети досліджуваних подій у часовій і частотній областях для їхньої ідентифікації і локації.

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

2. Сивцевич В.В., Виноградов А.Е. Формирование эталонов в устройстве распознавания движущихся наземных объектов. *Докл. БГУИР*. 2016. № 1 (95). С. 51–56.
3. Кухальский Н.Е., Козека П.И. *Докл. БГУИР*. 2011. № 4 (58). С. 30–35.
4. Варнавских В.А., Виноградов А.Е., Козека П.И. и др. // Матер. III всеросс. научн. конф. ученых, специалистов и профессорско-преподавательского состава «Территориально распределенные системы охраны». Калининград, 2010. С. 58–66.
5. Кухальский Н.Г., Виноградов А.Е. Математическая модель движения человека. *Докл. БГУИР*. 2008. № 6. С. 25–31.
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*. 2015. Vol. 9506. 7 p. doi: 10.1117/12.2178476.

Надійшла до редакції 15.03.2020