

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ПЕРСПЕКТИВ ТЕХНОЛОГІЇ СЕЙСМОАКУСТИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОРУШНИКА ПЕРИМЕТРУ ОХОРОННОГО ОБ’ЄКТА

В. О. АНДРУЩЕНКО¹, П. Т. СИРОТЕНКО², В. Г. БУГРІЙ³

¹*Київський національний університет ім. Т.Г. Шевченка, м. Київ, Україна,*

²*Український державний геологорозвідувальний інститут, м. Київ, Україна,*

³*ТОВ «Надра - Інтегровані Рішення», м. Київ, Україна*

В даній роботі проведено огляд сучасного стану та напрямку розвитку сейсмічних технологій для завчасного виявлення порушень периметру охоронних об’єктів. Проаналізовано потенційні можливості вирішення задач фіксування факту перетину периметру певним об’єктом-порушником; виявлення його точного просторового положення, параметрів руху; ідентифікації типу порушника. Розглянуто набір типових інформативних параметрів, необхідних для виділення та класифікації порушника. Наведено спектральні характеристики сигналу від джерел різного генезису (людини, автомобіля, гелікоптера, тощо.), обґрунтовано доцільність використання сучасних математичних методів (нейронних мереж, вейвлет-аналізу) при обробці сейсмоакустичної інформації.

ВСТУП

Проблематика забезпечення безпеки об’єктів цивільного та військового призначення, а також стратегічно важливих інфраструктурних споруд наразі досить актуальна. Одним із важливих елементів сучасних систем безпеки є система технічних засобів оповіщення про порушення периметру охоронної території чи завчасного виявлення потенційних об’єктів -порушників. Структурна побудова систем охорони (СО) передбачає використання комбінації точкових чи розподілених чутливих елементів (ЧЕ) та блоку керування й обробки зареєстрованих аналогових чи цифрових сигналів. Рівень сигналу відклику на появу порушника в таких системах може бути досить незначним на фоні контрольованого параметру. Також одночасно із корисним сигналом система реєструє численні завади різної інтенсивності та походження. Тому при створенні будь-якої периметрової системи виявлення доводиться приділяти значну увагу вивченню різних завод та напрацюванні методів та алгоритмів захисту від них, використовувати складні алгоритми обробки та аналізу сигналу для упевненого розділення корисної та шумової компоненти.

В контексті вище сказаного можна стверджувати, що розробка периметрових систем охорони являє собою досить складну наукомістку нетривіальну задачу. Численність фізичних явищ в основі побудови чутливих елементів, різні методики отримання сигналу та його подальшої обробки й аналізу зумовлює різноманіття існуючих технічних засобів охорони, що суттєво відрізняються за сферою й особливостями використання, характеристиками. Тому розробка нових зразків периметрових охоронних систем створює необхідність чіткого аналізу поточного стану та перспектив подальшого розвитку таких рішень.

ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СЕЙСМОАКУСТИЧНИХ СИСТЕМ ОХОРОНИ

Група периметрових охоронних систем, що використовують в якості інформативного хвильове чи вібраційне поле, характеризуються високою розповсюдженістю та конкурентоздатністю, займаючи провідне місце на ринку СО [10-12]. Названі системи будуються на основі сейсмічних чи акустичних датчиків, під якими розуміють групу сенсорів, що реєструють коливання чи вібрації власне земної поверхні або об'єктів на ній, викликані переміщенням порушника території. На характеристики таких коливань окрім власне сейсмічного відклику об'єкта впливають численні фактори, головними серед яких є властивості та стан ґрунту, фон природних мікросейсмів та урбаністичні завади, метеорологічні чинники тощо. В якості чутливого елемента використовуються датчики точкового чи розподіленого в просторі типу (рис. 1).



Рис 1. Класифікація сейсмоакустичних охоронних систем за типом використовуваних чутливих елементів та принципом їх розміщення в просторі

В розподілених чутливих елементів вихідний сигнал являє собою інтегративну величину зареєстрованих коливань протягом всієї довжини кабелю чи фрагменту сейсмічної “коси”. Точкові компактні сейсмоперетворювачі реєструють коливання чи вібрації безпосередньо в точці їх розміщення. Перевагами дискретних (точкових) сенсорів є вільна конфігурація та геометрія охоронної зони; можливість індивідуального налаштування кожного сенсора, що дає змогу в певній мірі компенсувати неоднорідності ґрунту при установці датчиків; точне просторове визначення положення прориву периметру; можливість використання методики кореляційної обробки сигналів від різних датчиків для нівелювання впливу певних видів завад; реєстрація сигналів в широкому діапазоні частот. Сильні сторони розподілених систем полягають в можливості реалізації більш витриманої і рівномірної зони виявлення порушника та більшій захищеності відносно деяких завад [7].

Аналіз та узагальнення наявних літературних відомостей дозволяє виділити особливості сейсмоакустичних систем [2,3]:

- Експлуатаційні умови передбачають замасковане розміщення датчиків в ґрунті на певній глибині, що ускладнює їх виявлення і знешкодження непідготовленими порушниками;
- Дані системи мають пасивний принцип реєстрації, який не передбачає випромінення енергії в навколишнє середовище. Низькі енергозатрати в комплексі із прихованим способом розміщення створюють оптимальні умови для використання ССО при охороні протяжних об’єктів чи рубежів;
- Просторові розміри зони виявлення (ЗВ) порушення периметру визначаються інтенсивністю джерела сейсмічного збурення і для габаритних об’єктів (автомобілі, броньована військова техніка) є досить значними – до кількох сотень метрів;
- Серед технічних засобів охорони сейсмічні системи характеризуються низькою собівартістю (в перерахунку на 1 погонний метр), загалом мають нижчі вимоги до умов розміщення та експлуатації [9,12];
- Головним недоліком ССО є загальна низька завадостійкість і, як наслідок, висока ймовірність хибних тривог. Підвищення завадостійкості відбувається за рахунок оптимізації розміщення чутливих елементів (в ґрунтах із низькими дисипативними властивостями, на певній відстані від промислових завад та дерев), попереднього індивідуального налаштування чутливих елементів із врахуванням наявного мікросейсмічного фону та просторової мінливості середовища розповсюдження хвиль, впровадження сучасних алгоритмів обробки та аналізу сейсмічних сигналів.

ЗАКОНОМІРНОСТІ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМО-АКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ В ЗАДАЧАХ ВИЯВЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОРУШНИКА

Розглядаючи задачі, вирішувані сейсмоакустичними системами, можна відзначити, що їх перелік та можливості успішного розв’язання в значній мірі відрізняються для рішень із різними типами чутливих елементів. Перелік задач для ССО складається із наступних пунктів, розміщених в напрямку зростання складності їх вирішення [4,6]:

- 1) Фіксування події перетину охоронного периметру певним об’єктом-порушником;
- 2) Просторова локація положення місця порушення, визначення напрямку руху та швидкості об’єкта;

3) Визначення з певною детальністю типу та параметрів порушника (людина, група людей, тварина, цивільний колісний чи гусеничний транспортний засіб, військовий транспортний засіб і т.д) як безпосередньо біля кордону безпеки, так і на певній віддалі від нього.

Процес обробки сигналів ССО при вирішенні окреслених вище задач в спрощеному вигляді можна представити наступною послідовністю:

- Отримання “сирих” чи вже оброблених мікропроцесором приймального датчика сейсмоакустичних даних;
- Виявлення рухомих об’єктів шляхом наявності відмінностей між зареєстрованим та фоновим сигналом, виділення “корисних” фрагментів сигналу із загального масиву;
- Формування сукупності інформативних ознак для наступної класифікації;
- Порівняння інформативних ознак досліджуваного сигналу із еталонними записами із бази даних;
- Прийняття рішення - вибір типу об’єкту, для якого співпадіння параметрів із еталонними характеристиками максимальне.

Стандартний набір інформативних ознак при виділенні із масиву даних сигналу порушника включає амплітудно-частотні характеристики сигналу, які за необхідністю доповнюються іншими параметрами, наприклад, коефіцієнтом заповнення масиву корисним сигналом, енергією сигналу вибірки, спектром огинаючої сигналу [5]. На основі розгляду літературних джерел [4,8,10] можна виділити наступні закономірності для спектральних характеристик сигналу систем сучасних СО:

- Загальний спектр сигналу визначається типом об’єкту, відстанню до джерела сигналу та швидкістю його руху, параметрами чутливості приймальної системи;
- Верхня частота інформативного сигналу обмежена значеннями 200-300 Гц внаслідок фільтруючого впливу приповерхневого шару ґрунту і за амплітудою в частотному діапазоні вище 300 Гц не перевищує інтенсивність мікросейсмічного фону;
- Для людини характерними є спектральні складові діапазону 0-80 Гц (з переважанням низькочастотних складових до 10-12 Гц), група із кількох людей викликає розширення спектру в високочастотну область. Рух людини в зареєстрованому сейсмічному сигналі відмічається квазіперіодичними імпульсами, при цьому огинаюча максимуму амплітуди при наближенні-віддаленні від сенсору підпорядковується експоненціальному закону;
- Сейсмічний сигнал, генерований рухомими технічними засобами характеризується менш вираженою періодичністю в низькочастотному діапазоні та меншою інтенсивністю зміни амплітуди. Водночас, для транспортних засобів особливістю є виникнення в спектрі сигналу нерегулярних високо амплітудних дискретних складових, обумовлених особливостями роботи механізмів.

В якості прикладу на рис. 2 наведено експериментальні сейсмічні записи групою сейсмоприймачів різних об’єктів (людини, колісного та гусеничного транспортних засобів – на відстані 10 метрів від приймача та гелікоптеру на висоті 300м) [8]. Представлені на рис. 3 спектрограми змодельованого сигналу від броньованої військової техніки (танків М1 “Абрамс”, Т-72, машини БМП) дають уявлення щодо потенційних можливостей ідентифікації типу військової техніки за спектральними характеристиками хвильового поля [13].

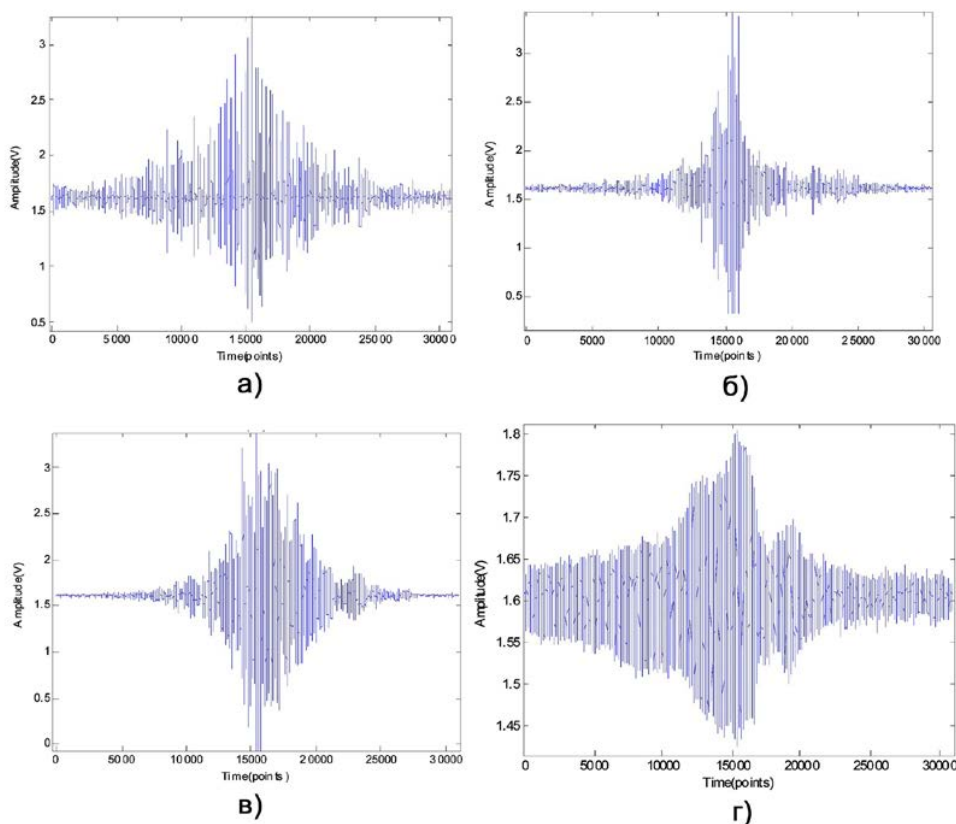


Рис. 2. Записи сейсмічного сигналу тривалістю близько 30 с різних рухомих джерел: а) людини, б) автомобіля, в) гусеничного транспортного засобу, г) гелікоптера.

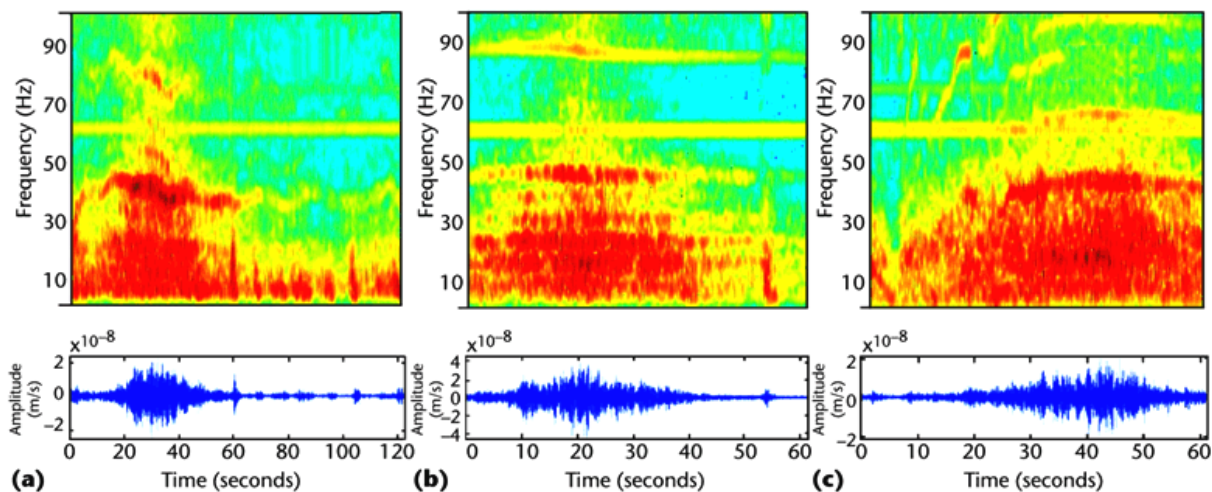


Рис.3. Змодельований сейсмічний сигнал та його спектральний аналіз для броньованої військової техніки а) М1“Абрамс”, б)танк Т-72, в) броньована машина БМП.

Слід відзначити важливість сумісного використання в задачах виявлення та класифікації порушника кількох інформативних параметрів, що значно підвищує відсоток успішності ССО. Іншим важливим чинником, що впливає на результати сейсмічного

виявлення, є необхідність попередньої адаптації системи до природно кліматичних умов місцевості шляхом запису фонових сигналів-мікросейсм різного походження (дощу, вітру, шуму дерев та індустріальних об'єктів, диких тварин) в різний час доби та в різні пори року. Вирішення задачі визначення типу порушника вимагає наявності репрезентативної бази сейсмічних образів як об'єктів дослідження (отриманих експериментальним шляхом чи в результаті моделювання), так із записів можливих завад різного характеру.

Складність класифікаційної задачі змушує розробників використовувати сучасні алгоритми обробки та інтерпретації сигналу, серед яких крім спектрального аналізу виділяються методи вейвлет- та адаптивного кореляційного аналізу, нейронні мережі. В контексті цього виділяється відмінність зарубіжних та вітчизняних охоронних систем. Зарубіжні розробки характеризуються високою технологічністю виконання реєструючих елементів при відносній алгоритмічній простоті процесу обробки сигналу, сильною стороною вітчизняних систем є поглиблена методика обробки при значно простішому технологічному виконанні чутливих приладів.

Важливою характеристикою сейсмічних систем охорони периметру є можливість завчасного виявлення порушника, яка однозначно пов'язана із розмірами зони виявлення. Максимальна дальність ЗВ окрім фізичних обмежень на прийом сейсмічних коливань (внаслідок затухання та поглинання сейсмічної енергії) залежить від параметрів приймальних датчиків, ефективності налаштування системи для конкретних умов, поточного мікросейсмічного фону, алгоритму обробки сигналу та масо-габаритних параметрів об'єктів. Типовими значеннями максимальної дальності успішного (із вірогідністю більше 90%) виявлення для різних типів порушників без використання спеціальних алгоритмів обробки сигналу складає 50-70 метрів для людини, 200-300 метрів для колісного автотранспорту [3,8].

ВИСНОВКИ

Сучасні сейсмоакустичні охоронні системи представлені численними типами чутливих елементів та варіантами їх просторового розміщення, що суттєво відрізняються за характеристиками, ефективністю вирішення конкретних задач, складністю налаштування, обслуговування та вартістю. Спектр вирішуваних задач ССО включає фіксування порушення периметру, виявлення просторового положення та напрямку руху порушника, його ідентифікацію. Дані рішення володіють високою ефективністю до виявлення порушень периметру, мають високу протидію обходам, не потребують суттєвого обслуговування після монтажу, однак в значній мірі піддаються впливу численних завад.

Водночас, незважаючи на доволі тривалу історію розвитку, потенціал сейсмоакустичних охоронних систем розкритий далеко не повністю. Цей факт обумовлений значною складністю як апаратної частини, так і алгоритмічного математичного забезпечення виділення корисної компоненти на фоні сигналу від численних зовнішніх умов. Подальший розвиток ССО пов'язаний із вирішенням наступних проблем: вдосконалення апаратної складової систем (використання багатокомпонентної реєстрації; застосування сучасних мініатюрних мікропроцесорів для обробки даних безпосередньо в приймальному пристрої, покращення характеристик розподілених датчиків-кабелів), впровадження сучасних методів обробки, аналізу сигналу, розпізнавання образів; комплексування з іншими методами.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Бронников А. А., Котов В. В., Никитенков, Д. С.* Периметровая пассивная сейсмическая система охраны объекта // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2009. – № 2-2. – С.222–226.
2. *Звездинский С. С.* Периметровые маскируемые сейсмические средства обнаружения // Специальная техника. – 2004. – № 2. – С. 20–28; – № 3. – С. 26–37.
3. *Звездинский С. С.* Проблема выбора периметровых средств обнаружения // БДИ. – 2002. – № 4 (44). – С. 36–41.
4. *Иванов В. А., Крюков И. Н.* К вопросу создания сейсмического средства обнаружения перспективных сигнализационных систем и комплексов // Сб. науч. тр. «Проблемы объектовой охраны». – Пенза: Изд-во ПГУ, 2000. – Вып. 1. – С. 141–144.
5. *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. – № 6. Том 10. – 2010. – С.36–41.
6. *Костенко К. В., Шевцов В. Ф.* Классификация объектов в сейсмических системах охраны // Информационно-управляющие системы. – 2009. – № 3. – С. 2–6.
7. *Нестеров Е. Т., Марченко К. В., Трещиков В. Н., Леонов А. В.* Волоконно-оптическая система мониторинга протяжённых объектов (нефтепроводов) на основе когерентного рефлектометра // Т-Comm. Телекоммуникации и Транспорт. – 2014. – 8, № 1 – С. 25–28.
8. *Ingchang Huang, Qianwei Zhou, Xin Zhang, Enliang Song, Baoqing Li, Xiaobing Yuan.* Seismic target classification using a wavelet packet manifold in unattended ground sensors systems // Sensors. – 2013. – № 13(7). – P. 8534–8550.
9. *Pricon. Technical Information* [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.signalsecurity.gr/html/pdf/brochures/psicon_brochure.pdf
10. *Quantum multichannel seismic-acoustic system* [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://qtsi.com/wp-content/uploads/2015/04/Data_Sheet_QM100.pdf
11. *Sabre perimeter systems* [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.mymip.com.my/images/pdf/Sabre_Datasheet_Set.pdf
12. *SpiderTech Ltd.* [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.moital.gov.il/CmsTamat/Rsrc/HLS%202009/Html/PDF/HLS_214.pdf
13. *Anderson T., Moran M., Ketcham S., Lacombe J.* Tracked Vehicle Simulations and Seismic Wavefield Synthesis in Seismic Sensor Systems // Computing in Science & Engineering. – 2004. – 6, № 6. – P. 22–28.