

В.А. Кирилюк, к.т.н., с.н.с.

В.В. Стрінада, викл.

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова

О.І. Лящук, пров. інж.

В.М. Шапка, заст. нач. ГЦСК

Головний центр спеціального контролю НКАУ

## ЗАСТОСУВАННЯ АКУСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ГЕОФІЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЗБУРЕНЬ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ У БЛИЖНІЙ ЗОНІ

У статті здійснено обґрунтування необхідності комплексної обробки геофізичної інформації від сейсмічної та акустичної систем геофізичного моніторингу при здійсненні ідентифікації джерел збурень техногенного походження у ближній зоні.

**Постановка проблеми.** Україна з 1996 року є членом Міжнародної системи моніторингу (МСМ) Організації Договору про всеохоплюючу заборону ядерних випробувань (ДВЗЯВ). Постійний контроль за виконаннями умов ДВЗЯВ досягається безперервною цілодобовою реєстрацією геофізичних явищ технічними засобами Головного центру спеціального контролю (ГЦСК) НКАУ. До основних технічних засобів ГЦСК належать засоби радіотехнічної, сейсмічної, акустичної, магнітної та аерозольної систем моніторингу. З 1996 року постійно здійснюється модернізація технічних засобів цих систем. Найбільший розвиток отримала сейсмічна система геофізичного моніторингу (ССГМ). В [1] наведено основні завдання ССГМ, одне з основних – спостереження за сейсмічною обстановкою в районах, що знаходяться на території України, або безпосередньо межують з нею (в даному контексті – ближня зона). В останній час інші системи моніторингу, насамперед це стосується акустичної системи, отримали розвиток та модернізацію.

Перехід на цифрові методи обробки геофізичної інформації дає змогу підвищити оперативність обробки інформації, достовірність прийнятих рішень та доведення її до відповідних споживачів.

Однією з важливих проблем контролю ДВЗЯВ є ідентифікація джерел збурень (ДЗ) (класи природних або техногенних джерел), особливо сигналів з ближньої зони. Важливість ідентифікації сигналів з ближньої зони полягає в тому, що їхня частка в загальній кількості сигналів, наприклад у 2006 році, становить близько 26 %. На рис. 1 наведено діаграму розподілу кількості сигналів, що зареєстровані з різних зон виявлення.

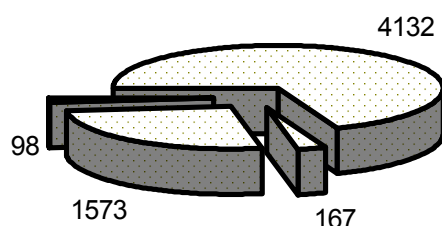


Рис. 1. Розподіл кількості сигналів за зонами виявлення у 2006 р.

Але при здійсненні ідентифікації ДЗ існують певні проблемні питання. В [2] проведено аналіз основних методів ідентифікації ДЗ при використанні ССГМ, вказано їх основні недоліки та переваги. На жаль, при здійсненні ідентифікації відповідного класу збурень, швидкість надходження цифрової інформації на центральний пункт обробки не дає змоги у необхідний час прийняти обґрунтоване рішення про ідентифікацію ДЗ при застосуванні лише ССГМ. Для розв'язання цієї проблеми доцільно застосувати також інформацію від акустичної системи геофізичного моніторингу (АСГМ).

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** свідчить про необхідність та доцільність використання інформації від АСГМ для розв'язання відповідних завдань [3–6].

Так, в [3] розглянуті основні підходи щодо створення національної системи акустичного групування з метою підвищення ефективності інфразвукових спостережень. Доведено, що існують необхідні засоби та можливості для здійснення регіонального моніторингу небезпечних техногенних явищ.

Також в [4] запропонована методика оцінки азимуту на джерело акустичного сигналу та фазової швидкості акустичної хвилі.

Крім цього, в [5, 6] доведено можливість використання АСГМ для виконання відповідних завдань стосовно національної безпеки та оборони держави.

Але питання комплексного застосування ССГМ та АСГМ з метою комплексної обробки геофізичної інформації при здійсненні ідентифікації джерел збурень в ближній зоні до цього часу в літературі не розглядалися, тому є достатньо актуальними.

**Формулювання мети статті.** Метою статті є визначення можливості комплексної обробки інформації від ССГМ та АСГМ при здійсненні ідентифікації джерел збурень техногенного походження в ближній зоні.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** В основу акустичного методу геофізичного моніторингу покладено реєстрацію та аналіз інфразвукових акустичних коливань атмосферного тиску або густини повітря, що виникають під час збурень атмосфери джерелами штучного походження [7]. Параметри сигналу (амплітудні, часові, спектральні та ін.) залежать від характеристик ДЗ.

У Головному центрі спеціального контролю (ГЦСК) організація акустичних спостережень здійснюється в таких пунктах спостереження (ПС):

- ПС № 013 – знаходиться поблизу м. Малин Житомирської області;
- ПС № 007 – знаходиться поблизу м. Кам'янець-Подільський Хмельницької області ;
- ПС № 009 – знаходиться поблизу м. Балта Одеської області;
- ПС № 023 – знаходиться в м. Житомир.

На рис. 2 наведено схему розміщення ПС на території України.

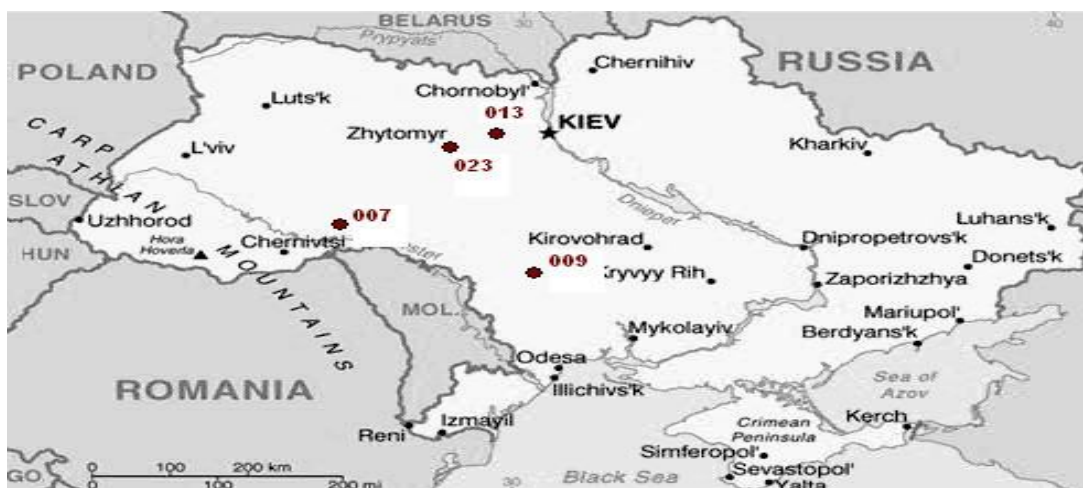


Рис. 2. Схема розміщення ПС АСГМ на території України

Існують певні відмінності в обладнанні ПС. На ПС № 013 використовується малоапертурна акустична група (МАОГ). На інших ПС застосовується тільки один комплект апаратури реєстрації. Основні переваги використання МАОГ у порівнянні зі звичайним комплектом апаратури реєстрації наведено в [3].

Розглянемо умови та особливості реєстрації геофізичної інформації за допомогою МАОГ.

Реєстрація акустичних коливань при використанні МАОГ здійснюється такими засобами: перешкодозахисний пристрій (ПЗП); акустична станція К-304-А (3 комплекти); 16-розрядний 3-канальний АПЦ з частотою дискретизації 40 Гц.

ПЗП використовується типу “Павук” та “Бочка”. Основні конструктивні особливості вказаних типів ПЗП наведено в [3]. Технічні характеристики та умови застосування станції К-304-А розглянуто в [8].

На рис. 3 схематично наведено розміщення елементів МАОГ на місцевості. МАОГ являє собою майже рівносторонній трикутник з відстанню між окремими елементами  $d$ , що дорівнює приблизно 0,2 км.

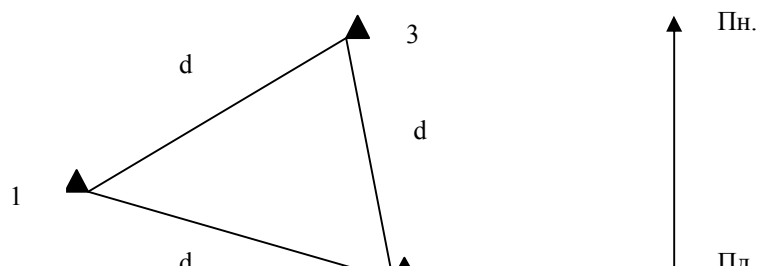


Рис. 3. Схема розміщення МААГ на ПС № 013

Розглянемо записи реєстрацій коливань ґрунту за допомогою ССГМ та варіацій атмосферного тиску за допомогою АСГМ на прикладі реєстрації збурення техногенного походження (промисловий вибух поблизу м. Малин Житомирської області 01.02.07 р.).

На рис. 4 (графік 1) наведено запис сейсмічного сигналу, що зареєстрований ССГМ в ПС № 013. На рис. 4 (графіки 2, 3, 4) зображено записи акустичного сигналу, що зареєстрований МААГ в ПС № 013. Затримка в надходженні відповідних збурень на ССГМ та АСГМ складає 24 с, що пояснюється різними швидкостями розповсюдження сейсмічних та акустичних хвиль.

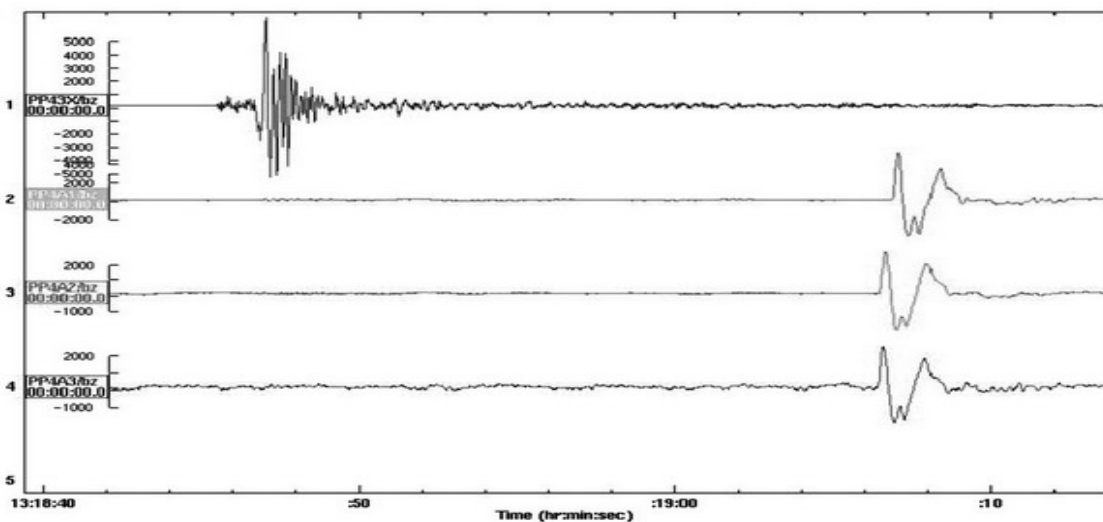


Рис. 4. Записи сейсмічних (1) та акустичних хвиль (2, 3, 4) від збурення техногенного характеру

Крім факту надходження акустичного сигналу від збурення техногенного характеру, оцінка параметрів сигналу також може бути використана для визначення таких характеристик ДЗ: відстань до ДЗ; енергія збурення (в даному випадку це – тротильовий еквівалент вибухової речовини). Визначення вказаних характеристик здійснюється після визначення таких параметрів акустичного сигналу (рис. 5) як: час вступу сигналу –  $t_{вст}$ ; максимальна амплітуда перепаду тиску –  $\Delta P$ ; тривалості фаз стиснення та розрідження – відповідно  $\tau_c, \tau_p$ .

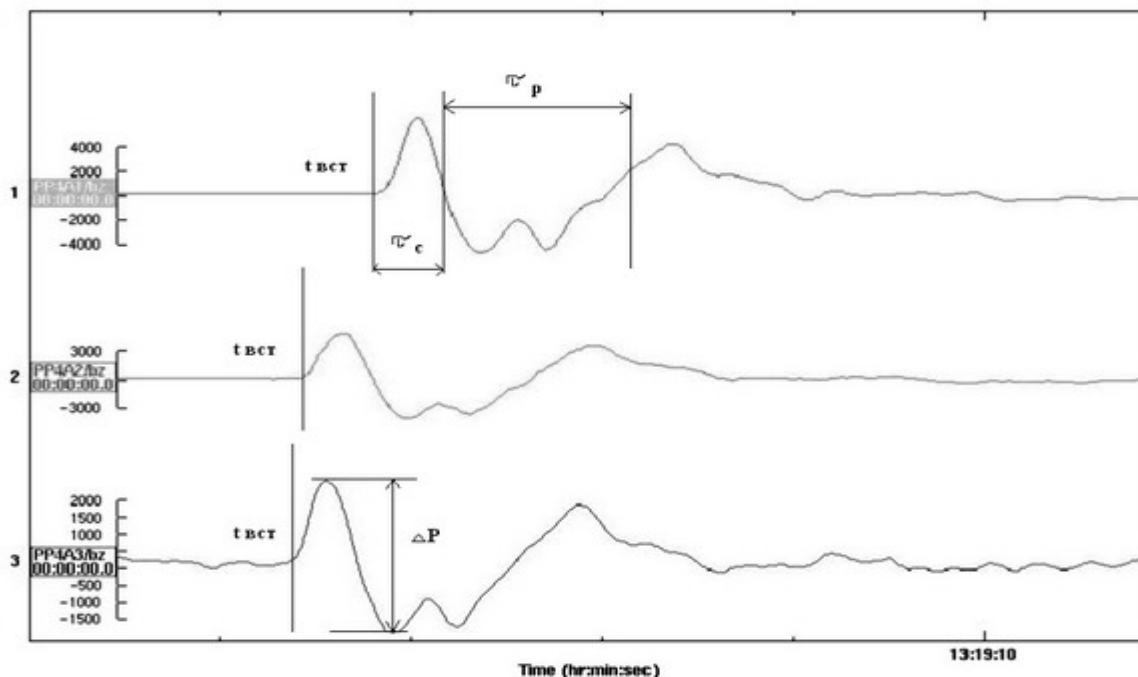


Рис. 5. Параметри акустичного сигналу, що підлягають оцінюванню

За різницею часів вступу акустичного сигналу на окремих елементах МААГ можливо визначити азимут на ДЗ. Для цього може бути застосовано вираз, що наведений в [3]. Вирази залежностей максимального перепаду тиску, тривалостей фаз стиску та розрідження від відстані до ДЗ та значення тротилового еквіваленту вибухової речовини наведено в [9].

Проведемо аналіз реєстрації збурень штучного походження ССГМ та АСГМ за грудень 2006 року на ПС № 013.

Для зручності порівняння ефективностей реєстрацій збурень техногенного характеру ССГМ та АСГМ на рис. 6 наведено кількість сигналів, які зареєстровані окремо ССГМ та АСГМ залежно від відстані до ДЗ (значення тротилового еквіваленту для розглянутих збурень приблизно однакові). З аналізу даних, які наведено на рис. 6, випливає, що значення кількості співпадань реєстрації даних між ССГМ та АСГМ дорівнює 1,0 на відстані до 50 км, та при збільшенні відстані до 115 км це значення знижується до 0,5.

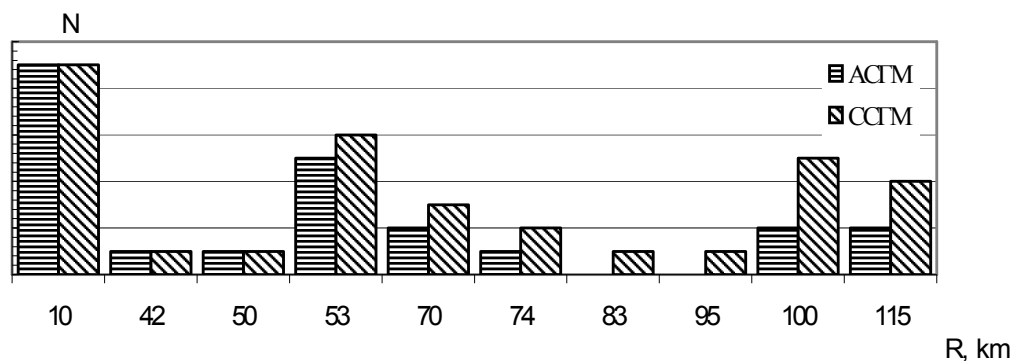


Рис. 6. Розподіл реєстрацій сигналів ССГМ та АСГМ з ближньої зони

Для аналізу можливості реєстрації сигналів з різних напрямків доцільно навести розподіл зареєстрованих збурень АСГМ залежно від відстані та азимуту в полярних координатах. Ця залежність зображена на рис. 7.

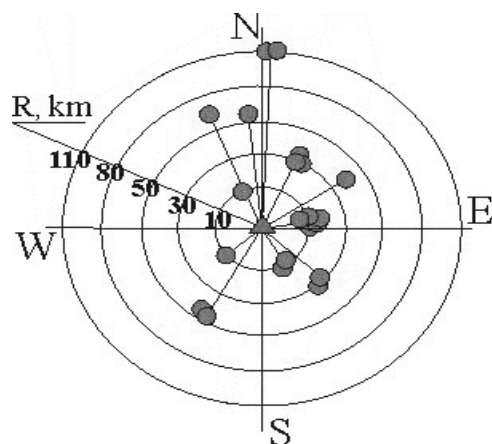


Рис. 7. Діаграма реєстрації сигналів АСГМ з ближньої зони

З метою кількісного порівняння ефективності спільного використання ССГМ та АСГМ при ідентифікації ДЗ в ближній зоні можна використати функцію комплексного показника [10], який має вигляд:

$$\Theta_i = \sum_{j=1}^K g_j \cdot X_{ij}, \quad (1)$$

де  $j$  – номер методу;

$K$  – кількість методів у комплексі;

$g$  – логіко-евристичний ваговий коефіцієнт;

$X$  – впорядковані набори даних по комплексу з  $K$  методів.

Значення логіко-евристичного вагового коефіцієнта може бути знайдено з виразу [10]:

$$\sum_{j=1}^K g_j^2 = 1. \quad (2)$$

Було здійснено аналіз даних реєстрації геофізичних явищ за грудень 2006 р. ССГМ на ПС № 013. Аналіз даних показав:

1. З 628 явищ було ідентифіковано 514 (82 %).

2. При ідентифікації ДЗ техногенного походження в ближній зоні були застосовані з можливих 8 ознак ідентифікації [2] в більшості випадків (у 89 % явищ) тільки 4 ознаки.

Отже при ідентифікації ДЗ техногенного походження ССГМ використовували такі ознаки:

1. Координати епіцентра ДЗ.
2. Значення магнітуди явища.
3. Значення глибини осередку явища.
4. Форма хвильового пакета сейсмічного сигналу.

Також за аналогічний період АСГМ з 232 явищ було зареєстровано 157 збурень (82 %) та при ідентифікації ДЗ техногенного походження використовували такі ознаки:

1. Фаза вступу сигналу.
2. Кількість квазіпівперіодів акустичного сигналу.
3. Форма хвильового пакета акустичного сигналу.

При здійсненні комплексного використання ССГМ та АСГМ з 628 геофізичних явищ в ближній зоні було зареєстровано 578 збурень (91 %).

Таким чином, комплексне використання ССГМ та АСГМ підвищить ефективність ідентифікації ДЗ техногенного походження в ближній зоні.

На основі вищесказаного можна зробити такі **висновки**:

1. При організації акустичних спостережень в ГЦСК застосовуються інформація з чотирьох ПС, один з яких МААГ.

2. З метою підвищення достовірності прийнятих рішень при реєстрації ДЗ техногенного характеру в ближній зоні необхідно здійснювати комплексування інформації ССГМ та АСГМ.

3. Для кількісної інтерпретації комплексних геофізичних даних доцільно використати функцію комплексного показника.

**Перспективами подальших досліджень** слід вважати визначення законів розподілу акустичного фону та сигналів для розробки автоматизованих алгоритмів ідентифікації ДЗ техногенного походження.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Дядюра В.А., Будкевич В.Б., Качалин И.Г. Украинская сейсмическая группа. Контур реального времени // Геофизический журнал. – 2000. – Т. 22. – № 6. – С. 184–190.
2. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний / О.К. Кедров. – М.: Саранск: Тип. “Крас. Окт.”, 2005. – 420 с.
3. Гордиенко Ю.А., Карягин Е.В., Ляцук А.И., Солонец А.И. Построение систем акустического группирования для реализации инфразвукового мониторинга // 36. наук. пр. ХУ ПС. – Х.: ХУ ПС. – 2006. – Вып. 3 (52). – С. 36–42.
4. Машиков О.А., Кириллюк В.А., Карягин Е.В., Качалин И.Г. Оцінка характеристик джерела інфразвукових коливань техногенного походження малоапертурною акустичною групою // Моделювання та інформаційні технології. – № 29. – 2004. – С. 47–49.
5. Гуков В.М., Пастушенко Н.С., Солонец А.И., Терещенко И.В., Федотов В.П. О возможности использования сети наблюдения ГЦСК в интересах Вооруженных Сил // 36. наук. пр. ХВУ. – 2001. – Вып. 4 (34). – С. 123–127.
6. Гордиенко Ю.А., Ляцук А.И., Солонец А.И. Возможности инфразвукового мониторинга для использования в интересах Вооруженных Сил // 36. наук. пр. ХУ ПС. – 2006. – Вып. 4 (53). – С. 207–210.
7. Ададуров О.Ф. та ін. Фізичні основи системи спеціального контролю: Навчальний посібник. – Харків: ХВУ, 2004. – 312 с.
8. Стационарні технічні засоби спеціального контролю: Навчальний посібник / О.Ю. Тофанчук, В.А. Кириллюк, М.Д. Петрук та ін. – Житомир: ЖВІРЕ, 2005. – 316 с.
9. Michael J., McKisic Infrasound and the infrasonic monitoring of atmospheric nuclear explosions. Final report. National Technical Information Service (NTIS) 28 February 1997. – С. 168–169; 4, 34–36, 58–67.
10. Геофизические методы исследования // В.К. Хмелевский, М.Г. Попов, А.В. Калинин, Ю.И. Горбачев, В.А. Шевнин, В.Е. Фадеев // Под ред. В.К. Хмелевского. – М.: Недра, 1988. – 364 с.

КИРИЛЮК Володимир Анатолійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник відділу науково-дослідного управління Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– розробка методичного та алгоритмічного забезпечення функціонування складних геоінформаційних систем.

СТРИНАДА Віктор Васильович – викладач кафедри спеціальних систем озброєння Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– обробка геофізичної інформації.

ЛЯЦУК Олександр Іванович – провідний інженер науково-дослідного та випробувального відділу Головного центру спеціального контролю Національного космічного агентства України.

Наукові інтереси:

– моніторинг геофізичних явищ техногенного походження.

E-mail: alex@gcsc.gov.ua

ШАПКА Володимир Миколайович – заступник начальника Головного центру спеціального контролю Національного космічного агентства України.

Наукові інтереси:

– моніторинг геофізичних явищ техногенного походження.

Подано 28.03.2007