

В. В. Стрінада, О. І. Лящук, Є. В. Карягін

ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ДЖЕРЕЛА ЗБУРЕНЬ ЗАСОБАМИ ІНФРАЗВУКОВОГО МОНІТОРИНГУ

У статті запропоновано підхід до визначення типу джерел геофізичних збурень технічними засобами акустичної системи геофізичного моніторингу, що функціонує в Головному центрі спеціального контролю Державного космічного агентства України.

Постановка проблеми. Генеральна Асамблея ООН 10 вересня 1996 року прийняла Договір про всеохоплюючу заборону ядерних випробувань (ДВЗЯВ), що унеможливило проведення випробувальних ядерних вибухів у всіх середовищах всіма державами. Ця угода є важливим компонентом глобального моніторингу нерозповсюдження ядерної зброї. Україна з 2000 року є членом Міжнародної системи моніторингу (МСМ) Організації ДВЗЯВ. Така система моніторингу, створена виключно з метою контролю виконання умов ДВЗЯВ, також дозволяє отримати унікальні результати спостережень, які доцільно використати для зменшення наслідків стихійних явищ глобального масштабу. МСМ забезпечує всеосяжне спостереження геофізичної обстановки за допомогою 320 станцій моніторингу, що розташовані у 92 державах світу. Для цього використовують 4 види моніторингу: сейсмічний, гідроакустичний, інфразвуковий та радіонуклідний.

Моніторинг геофізичної обстановки в нашій державі здійснюється технічними засобами Головного центру спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства (ДКА) України [1]. З 1997 року постійно проводиться модернізація технічних засобів систем геофізичного моніторингу ГЦСК ДКА України. З 2000 року автоматизований комплекс апаратури сейсмічного групування ГЦСК ДКА України включений до мережі сейсмічного моніторингу МСМ як станція PS-45 [1, 2].

Система інфразвукових спостережень ГЦСК ДКА України протягом останнього десятиріччя отримала значний розвиток, розширився діапазон завдань моніторингу техногенних та природних явищ. Акустична система геофізичного моніторингу (АСГМ) вирішує завдання контролю за виконанням умов ДВЗЯВ, створення систем локалізації катастроф штучного походження, оцінювання координат промислових вибухів, шумового моніторингу довкілля тощо [3–5].

Ефективна співпраця ГЦСК ДКА України та МСМ з інфразвукового моніторингу на теперішній час не налагоджена через відсутність необхідної сертифікації національної АСГМ.

Огляд останніх досліджень та публікацій свідчить про значний інтерес до питань використання інформації від АСГМ для вирішення різнопланових завдань [6–8].

Так, у [6] обґрунтовано необхідність використання АСГМ, що створена та функціонує в ГЦСК, у складі МСМ Організації ДВЗЯВ. У [7] проаналізовано можливості комплексного використання АСГМ та сейсмічної системи геофізичного моніторингу при ідентифікації джерел збурень штучного походження. У [8] досліджено ефективність виявлення акустичних сигналів АСГМ для локалізації джерел геофізичних збурень.

Досвід організації інфразвукового моніторингу виявив певні проблемні питання. Оцінювання інфразвукових сигналів полягає у визначенні типу джерела збурення (ДЗ), а саме: повітряне штучне; надводне штучне; наземне штучне; сигнал, подібний до штучного ДЗ; ближня атмосферна перешкода; дальня атмосферна перешкода. Існуюча методика класифікації ДЗ АСГМ ґрунтується на досвіді оператора-інтерпретатора, що характеризується певними недоліками [1]. Така класифікація не регламентована фахівцями МСМ та потребує відповідного доопрацювання.

Тому доповнення класифікації ДЗ з урахуванням рекомендацій фахівців з інфразвукового моніторингу МСМ є актуальним.

Метою статті є обґрунтування класифікації ДЗ АСГМ, що створена та функціонує в ГЦСК ДКА України.

Виклад основного матеріалу. В основу функціонування АСГМ покладено реєстрацію та аналіз інфразвукових коливань атмосферного тиску, що виникають під час збурень атмосфери джерелами різного походження.

Проведення інфразвукового моніторингу в ГЦСК організоване в такому складі [1, 2]: автономний пункт спостереження (ПС) “Кам’янець-Подільський” (м. Кам’янець-Подільський, Хмельницька область);

ПС “Малин” (м. Малин, Житомирська область);

ПС “Балта” (м. Балта, Одеська область);

ПС “Житомир” (м. Житомир);

українська антарктична станція “Академік Вернадський” (Національний антарктичний науковий центр).

Існують певні відмінності в обладнанні наведених пунктів. Так, на ПС “Балта”, “Житомир” та українській антарктичній станції “Академік Вернадський” використовується один вимірювальний пристрій (мікробарограф). На ПС “Малин” та в автономному ПС “Кам’янець-Подільський” вимірювальні пристрої утворюють системи акустичного групування, що отримали назву малоапертурних акустичних груп (МАОГ). Геометричне розташування елементів МАОГ 1 та МАОГ 2 цих пунктів наведено на рис. 1, 2 відповідно.

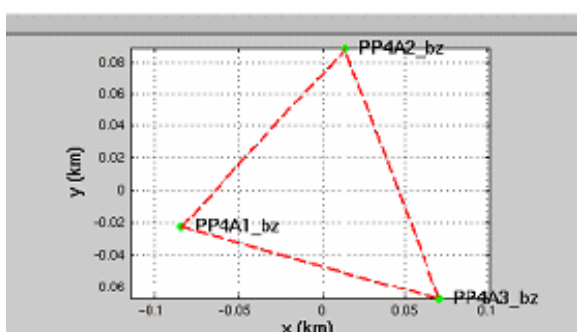


Рис. 1. Розташування МАОГ 1 в ПС “Малин”

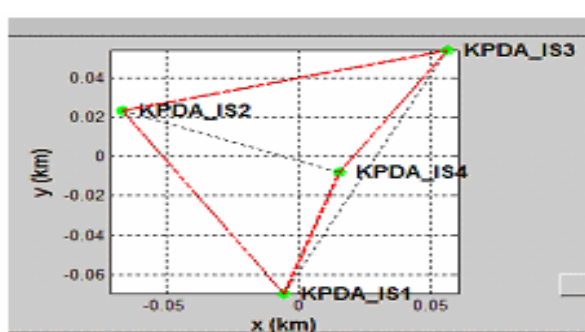


Рис. 2. Розташування МАОГ 2 в автономному пункті спостереження “Кам’янець-Подільський”

Функціонування МАОГ здійснюється такими засобами: перешкодозахисними пристроями; акустичною станцією К-304 А (3 комплекти); 24-розрядним 3-канальним аналого-цифровим перетворювачем з частотою дискретизації 40 Гц; автоматизованим робочим місцем збору, збереження та передачі інформації; GPS-приймачем.

Характеристики акустичної станції К-304 А наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Основні технічні характеристики акустичної станції К-304 А

Тип акустичної станції	Технічні характеристики				
	Смуга пропускання, Гц	Динамічний діапазон вхідного сигналу, Па	Рівень власних шумів, Па	Тип акустичного датчика	Маса виробу, кг
К-304-А	0,003–10	0,1–100	≤ 0,05	Ємнісний	16

Порівняно з одноканальним інфразвуковим приймальним контуром МААГ має такі переваги [9]:

можливість визначення напряму на ДЗ акустичних сигналів, за наявності двох і більше просторово рознесених МААГ, – можливість просторового місцевизначення джерела;

зростання відношення сигнал/перешкода за рахунок застосування групової обробки інформації.

Відомо, що інфразвукові хвилі генеруються ДЗ техногенного або природного походження. До основних ДЗ техногенного походження відносять: ядерні вибухи, хімічні (промислові) вибухи, аварії техногенного характеру, польоти літаків, переміщення транспорту, великі пожежі тощо [10, 11]. До основних ДЗ природного походження належать: збурення від грозової активності; вітрові перешкоди; перешкоди, викликані турбулентністю атмосфери; землетруси; магнітні бурі; падіння метеоритів; тайфуни та урагани тощо [10, 11].

Розглянемо особливості інфразвукових сигналів від збурень техногенного походження.

На рис. 3 наведено хвильові форми інфразвукових сигналів від аварії на газопроводі в Полтавській області, що сталася 17 червня 2014 року об 11 год 10 хв і була зареєстрована технічними засобами МААГ 1.

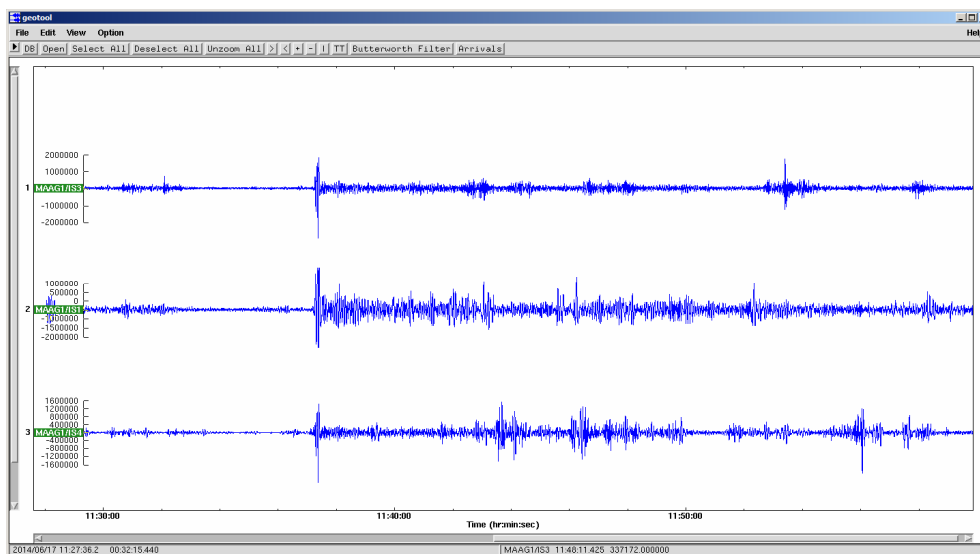


Рис. 3. Хвильова форма акустичного сигналу від збурення техногенного характеру, зареєстрованого технічними засобами МААГ 1

Аналіз даних, наведених на рис. 3, свідчить, що характерними особливостями акустичних сигналів від збурень техногенного походження є таке: коливання мають квазісинусоїдальну форму; імпульсний характер коливального процесу акустичного сигналу; різке збільшення амплітуди акустичного сигналу; вступ сигналу відбувається у фазі стиснення; значення амплітуди тиску сигналу зазвичай значно перевищує значення акустичного фону, характерного для відповідної місцевості; спектральні складові акустичного сигналу відрізняються від спектральних складових акустичного фону; відбувається зміна частоти сигналу з моменту його вступу до моменту закінчення.

Розглянемо особливості інфразвукових сигналів від збурень природного походження.

На рис. 4 наведено хвильові форми інфразвукових сигналів від падіння метеорита біля озера Чебаркуль (м. Челябінськ), зареєстрованого технічними засобами МААГ 2.

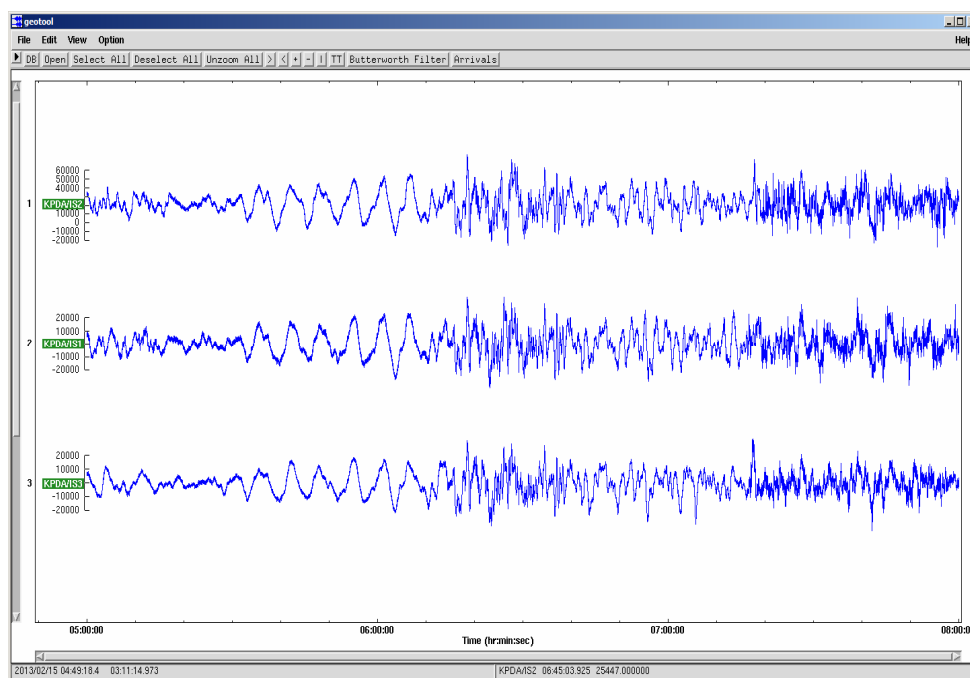


Рис. 4. Хвильова форма акустичного сигналу від збурення природного походження, зареєстрованого технічними засобами МААГ 2

Аналіз даних, наведених на рис. 4, свідчить, що характерними особливостями акустичних сигналів від збурень природного походження є: незначне збільшення амплітуди акустичного сигналу; вступ сигналу відбувається як у фазі розрідження, так і у фазі стиснення; амплітуда тиску сигналу має незначне перевищення значення акустичного фону; спектральні складові акустичного сигналу практично не відрізняються від спектральних складових акустичного фону.

Покажемо, яким чином розраховуються основні параметри акустичних сигналів, що можуть бути покладені в механізм класифікації акустичних сигналів технічними засобами АСГМ. Під параметрами акустичного сигналу будемо розуміти характеристики, що визначають його суттєві властивості, на підставі яких здійснюється оцінювання ДЗ геофізичних явищ.

З [1] відомо, що варіації атмосферного тиску, викликані ДЗ техногенного походження над поверхнею Землі, носять вузькосмуговий коливальний характер з періодичною

зміною фаз стиснення та розрідження. Характерний період інфразвукових коливань розраховують за виразом

$$T_x = \tau_c + \tau_p, \quad (1)$$

де τ_c – тривалість фази стиснення акустичної хвилі, с;

τ_p – тривалість фази розрідження акустичної хвилі, с.

Для подібних ДЗ тривалості фаз стиснення τ_c та розрідження τ_p можна розрахувати за формулами [1]:

$$\begin{aligned} \tau_c &= 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{C_{ef}} \cdot \sqrt{R}, \\ \tau_p &\approx \tau_c, \end{aligned} \quad (2)$$

де C_{ef} – ефективна маса заряду вибухової речовини, що приведена до тротилу (тротиліний еквівалент), кг;

R – відстань від центру збурення, м.

Оцінювання миттєвого значення фази сигналу для кожного елемента МААГ проведемо за співвідношенням [12]:

$$\varphi = \text{arcctg} \left(\frac{A_{n+1}}{A_n} - \text{ctg}(\omega \cdot T_\theta) \right), \quad (3)$$

де A_n – значення дискрети сигналу;

ω – частота сигналу, Гц;

T_θ – період дискретизації сигналу, с.

Для оцінювання азимута на ДЗ використовуємо такий вираз [12]:

$$\Theta = \text{arctg} \left(\frac{(x_2 - x_1) \cdot \tau_{2-3} - (x_2 - x_3) \cdot \tau_{1-2}}{(y_2 - y_1) \cdot \tau_{2-3} - (y_2 - y_3) \cdot \tau_{1-2}} \right), \quad (4)$$

де $y_1, y_2, y_3, x_1, x_2, x_3$ – координати приймальних елементів МААГ;

τ_{1-2}, τ_{2-3} – часові затримки надходження сигналів на відповідні елементи МААГ.

Формула для оцінювання уявної швидкості проходження фронту хвилі через елементи МААГ V_p для кожного моменту часу має такий вигляд [13]:

$$V_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\Delta\varphi_{1-2}} \left[(y_1 - y_2) \cdot \cos(\Theta) - (x_1 - x_2) \cdot \sin(\Theta) \right], \quad (5)$$

де $\Delta\varphi_{1-2}$ – різниця значень миттєвих фаз між першим і другим каналами МААГ.

Проведемо аналіз визначення типу ДЗ від зареєстрованих акустичних сигналів технічними засобами інфразвукового моніторингу за 2013 рік, розподіл типів ДЗ за цей період наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Розподіл типів ДЗ від акустичних сигналів, зареєстрованих МААГ1 та МААГ2

№ з/п	Тип ДЗ	Результати визначення типів ДЗ від сигналів, зареєстрованих МААГ 1	Результати визначення типів ДЗ від сигналів, зареєстрованих МААГ 2
1.	Штучне ДЗ	456 (36%)	540 (39%)
2.	Природне ДЗ	808 (64%)	844 (61%)

Аналіз наведених параметрів акустичних сигналів показує: значення характерного періоду інфразвукових коливань має достатній розкид залежно від потужності ДЗ та відстані до місця реєстрації; значення уявної швидкості залежить від метеорологічних умов на шляху розповсюдження акустичних сигналів.

Усереднені значення параметрів акустичних сигналів від ДЗ, зображені на рис. 1 – 2, наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Значення параметрів акустичних сигналів від ДЗ

№ з/п	Тип ДЗ	Характерний період, с	Вступ сигналу	Тривалості фаз стиснення та розрідження, с	Уявна швидкість, км/с	Кількість квазінапів-періодів	Максимум спектральної щільності потужності, Гц
1.	Аварії техногенного характеру	0,3–1	Фаза стиснення	0,5–1	0,3–0,5	5–10	2
2.	Падіння метеорита	3–20	Фаза розрідження	2–10	0,3–0,5	>100	0,1

Аналіз даних, наведених у табл. 3 свідчить про відмінності значень параметрів акустичних сигналів від ДЗ техногенного та природного походження, що підтверджує правильність обраних параметрів акустичного сигналу при проведенні класифікації джерел геофізичних збурень АСГМ.

Висновки

1. Технічні засоби ГЦСК України є потужною інформаційною системою збору й обробки даних різними методами реєстрації, що дозволяють здійснювати моніторинг геофізичних явищ у межах земної кулі.

2. Флуктуації атмосферного тиску, що реєструються мікробарографами, є надійним джерелом інформації про хвильові збурення в атмосфері Землі.

3. Перспективність використання характеристик інфразвуку як ознак класифікації ДЗ полягає в можливості інфразвукових хвиль розповсюджуватися на значні відстані без згасання.

4. При класифікації типів ДЗ рекомендовано використовувати такі параметри акустичного сигналу: характерний період; характер вступу; тривалість фаз вступу; уявну швидкість; кількість квазінапівперіодів; максимум спектральної щільності потужності.

5. Перспективами розвитку акустичної системи геофізичного моніторингу є подальше вдосконалення мережі пунктів спостереження, модернізація методичних та алгоритмічних засобів для проведення сертифікації національної системи інфразвукового моніторингу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теорія побудови систем геофізичного моніторингу : навч. посіб. / Р. А. Андрощук, О. І. Рибачук, В. В. Стрінада та ін. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. – 208 с.
2. Обробка геофізичних сигналів у сучасних автоматизованих комплексах : навч. посіб. / [В. А. Кирилюк, М. Ф. Пічугін, О. А. Машков та ін.]. – Житомир : ЖВІРЕ, 2007. – 176 с.
3. Система локального та глобального динамічного моніторингу параметрів навколишнього середовища реального часу : монографія / Ю. Я. Бобало, Ю. Г. Даник, М. М. Климаш та ін. – Львів : Укр. акад. друкарства, 2013. – 452 с.
4. Даник Ю. Г. Національна безпека: запобігання критичним ситуаціям : монографія / Ю. Г. Даник, М. Ф. Пічугін, Ю. І. Катков. – Житомир : Рута, 2006. – 388 с.
5. Даник Ю. Г. Тенденції розвитку і застосування високих технологій в інтересах національної безпеки й оборони / Ю. Г. Даник, М. Ф. Пічугін // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІРЕ, 2007. – Вип. 11. – С. 5–19.
6. Використання малоапертурної акустичної групи в складі міжнародної системи моніторингу / І. М. Сащук, В. В. Стрінада, І. Г. Качалін та ін. // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2011. – № 4. – С. 115–122.
7. Застосування акустичної системи геофізичного моніторингу при здійсненні ідентифікації джерел збурень техногенного походження в ближній зоні / В. В. Стрінада, В. А. Кирилюк, О. І. Лящук, В. М. Шапка // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2007. – № 2 (41). – С. 77–82.
8. Стрінада В. В. Ефективність виявлення акустичних сигналів при локалізації джерел геофізичних збурень / В. В. Стрінада // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2011. – № 5. – С. 166–172.
9. Ададуоров О. Ф. Фізичні основи системи спеціального контролю : навч. посіб. / О. Ф. Ададуоров. – Х. : ХВУ, 2004. – 312 с.
10. Госсард Э. Волны в атмосфере / Э. Госсард, У. Хук ; пер. с англ. – М. : Мир, 1978. – 532 с.
11. Detection of atmospheric explosions at IMS monitoring stations using infrasound techniques / R. Douglas, D. Christie, L. Brian and other // 28th Monitoring Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies, September 19–21, 2006. – Orlando, 2006. – P. 825–835.
12. Оцінка характеристик джерела інфразвукових коливань техногенного походження малоапертурною акустичною групою / О. А. Машков, В. А. Кирилюк, І. Г. Качалін, Є. В. Карягін // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. – К., 2005. – № 29. – С. 80–87.
13. Liszka L. Long-distance propagation of infrasound from artificial sources / L. Liszka // J.Acoust.Am. – 1974. – V. 56 (№ 5). – P. 1367–1388.

Подано 01.08.2014

В. В. Стринада, А. И. Ляшук, Е. В. Карягин

**ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТИПА ИСТОЧНИКА ВОЗМУЩЕНИЙ
СРЕДСТВАМИ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА**

В статье предложен подход к определению типа источников геофизических возмущений техническими средствами акустической системы геофизического мониторинга, функционирующей в Главном центре специального контроля Государственного космического агентства Украины.

V. V. Strinada, A. I. Lyashuk, E. V. Karyagin

**APPROACH TO DETERMINING THE TYPE SOURCES OF DISTURBANCE MEANS
INFRASOUND MONITORING**

The article presents an approach to determine the type of geophysical excitations source technical means of geophysical monitoring speaker system that operates in the main center of the special control of the State Space Agency of Ukraine.