

## **ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ АКУСТИЧЕСКОГО ГРУППИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА**

Ю.А. Гордиенко<sup>1</sup>, Е.В. Карягин<sup>1</sup>, А.И. Ляшук<sup>1</sup>, А.И. Солонец<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Главный центр специального контроля, Украина,

<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

*В работе рассмотрены современные подходы к построению систем акустического группирования. Представлены результаты начальной опытной эксплуатации малоапертурной акустической группы.*

### *инфразвуковой мониторинг, акустическая группа*

**Постановка проблемы.** С началом ядерной эры во многих странах мира мощный толчок к развитию получили средства контроля ядерных испытаний на иностранных полигонах. Несмотря на изменение геополитической обстановки в мире актуальность специального контроля за ядерными испытаниями остается высокой. Этому способствует и появление новых государств – обладателей ударных ядерных технологий (Пакистан, Индия, КНДР и т.д.), и стремление других государств получить эти технологии для укрепления собственной обороноспособности и значимости на мировой арене.

Для обеспечения контроля за запрещением ядерных взрывов в любых средах Международная система мониторинга (МСМ) Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) (членом которого является и Украина) использует объекты, в том числе, инфразвукового мониторинга. В МСМ предполагается включение 60 таких объектов [1, 2], все они представляют из себя системы акустического группирования. Акустические группы уже созданы [2] и достаточно эффективно функционируют в таких странах как США, Россия, Казахстан, Китай, Франция, Австралия, и этот список можно еще продолжать.

В настоящее время на Украине в рамках участия в ДВЗЯИ, в Главном центре специального контроля (ГЦСК), на пунктах наблюдения (ПН) используются посты акустического мониторинга, построенные по сингулярному принципу, состоящие из одного помехозащитного устройства (ПЗУ), акустического канала, аппаратуры обработки информации и самопишущего устройства. Обнаружение сигналов прово-

дится оператором вручную. В качестве аппаратуры измерения вариаций воздушного давления используются станции типа К-304, которые зарекомендовали себя как достаточно надежные и чувствительные приборы [3]. Вместе с тем основной недостаток одиночного микробарографа – низкое отношение сигнал/шум, в то время, как важно выделить полезную составляющую на уровне нестационарного акустического фона. Для решения задач обнаружения при повышенных требованиях к достоверности информации и разрешающей способности, особенно при идентификации региональных источников акустических возмущений, одной станции не достаточно.

Таким образом, задача создания акустических групп и разработка инфразвукового программно-аппаратного комплекса на базе технических средств ГЦСК достаточно актуальна.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Зарубежные публикации [2, 4, 5], посвященные построенным в последнее время инфразвуковым станциям, позволяют выделить их общие черты. Во всех случаях акустическая группа (АГ) представляет собой комплекс технических средств, состоящий из:

- трех или более пространственно разнесенных ПЗУ;
- аппаратуры преобразования (микробарограф, низкочастотный микрофон, акустических станций, подключенных по акустическому каналу к ПЗУ);
- аппаратуры аналого-цифрового преобразования;
- каналов передачи данных на обрабатывающий комплекс;
- комплекса автоматизированной обработки;
- вспомогательной аппаратуры (калибровочные и тарировочные устройства, система гарантированного электропитания).

В работах [1, 6] обоснованы линейные размеры АГ и схемы построения.

**Целью данной работы** есть рассмотрение основных подходов к созданию отечественных систем акустического группирования для повышения эффективности инфразвуковых наблюдений.

**Принципы построения акустических групп.** Процесс построения АГ включает следующие этапы:

- выбор количества элементов группы;
- выбор формы и линейных размеров АГ;
- выбор типа и изготовление ПЗУ;
- выбор варианта энергообеспечения и теплозащиты аппаратуры АГ;
- координатная привязка элементов группы на местности с помощью GPS/ГЛОНАСС;

- выбор и реализация способа передачи данных на комплекс обработки и его реализация;
- создание программно-математического комплекса обработки акустической информации.

Число элементов акустической группы выбирается согласно критерия эффективность-достаточность-стоимость. Исходя из теории местоопределения, три элемента системы достаточны для определения азимута на источник (хотя и со значительной ошибкой). В программе МСМ четырехэлементные АГ предложены в качестве базовых. Как правило, расстояния между элементами выбираются в зависимости от характера ветровых помех для данной местности, а в качестве стандарта в МСМ принята треугольная схема.

АГ может включать низкочастотные (до 1 Гц), высокочастотные (свыше 1 Гц) и широкополосные варианты ПЗУ или их комбинации. При выборе систем акустического усреднения учитываются их физические свойства, стоимость и область применения. Причем, различные типы ПЗУ обладают, в зависимости от конструкции и размеров, собственными частотными характеристиками. Так линейные ПЗУ типа "Коническая труба", "Параллельная труба" имеют значительные линейные размеры (сотни метров) и обладают хорошим шумовым подавлением в полосе частот до 0,14 Гц. ПЗУ площадного типа ("Паук", "Крест", "Звезда", "Ковер") имеют меньшие линейные размеры и обладают хорошим шумовым подавлением в полосе частот 0,75...1,5 Гц.

В диапазонах частот работы микробарографов кроме инфразвуковых волн вклад в выходной сигнал дают многие источники, что создает шум, из которого должны быть выделены искомые информационные сигналы. На низких частотах основной вклад дают изменения погоды синоптического масштаба, приливы, суточный солнечный нагрев и периодические изменения направления бризовой циркуляции. На более высоких частотах главный вклад принадлежит волнам плавучести, конвекции и приносимой ветром турбулентности. Чтобы выделить инфразвуковые сигналы из фонового шума, требуется фильтрация как по частоте, так и по направлению и скорости волны. Анализ функции взаимной корреляции или взаимных спектров между сигналами от различных ПЗУ АГ позволяет определить по разности времен достижения сигналами различных ПЗУ скорость и направление сигналов от источников. Такой анализ может быть распространен на всю область частот, а анализ взаимных спектров используется для выделения сигналов на различных частотах, но имеющих одну и ту же скорость и приходящих из одного и того же направления. Для пространственной обработки данных АГ мо-

гут быть использованы подходы, предложенные для сейсмических групп, например в публикациях [7 – 9].

**Реализация и результаты начальной эксплуатации малоапертурной акустической группы.** Учитывая вышеизложенное, а также возможности размещения элементов группы на реальной местности, на базе ГЦСК была построена малоапертурная акустическая группа (МА-АГ), элементы которой расположены на расстояниях 200-300 метров друг от друга.

В качестве ПЗУ были выбраны устройства площадного типа "Крест" (рис. 1). Они наиболее оптимальны по простоте изготовления, рабочим характеристикам и стоимости.

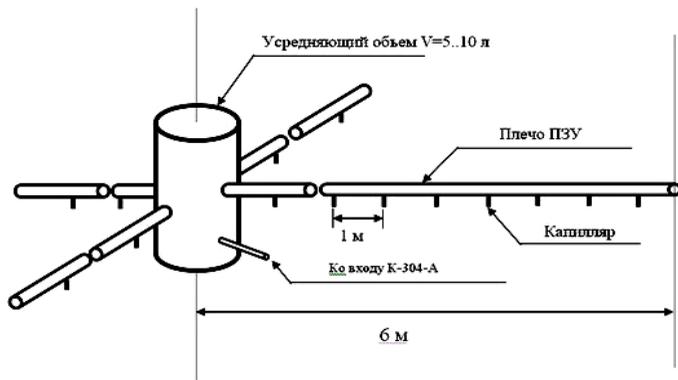


Рис. 1. ПЗУ типа "Крест"

Один из элементов группы снабжался экспериментальным объемным ПЗУ лабиринтного типа, получившее название "Бочка" из-за элементов своей конструкции (рис. 2).

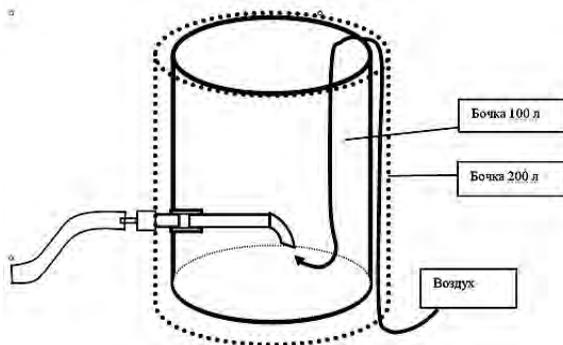


Рис. 2. Объемное ПЗУ лабиринтного типа

По рис. 3 можно наглядно оценить эффективность работы 2-х систем акустического усреднения на одном и том же акустическом фоне. Здесь элементы РР4А1 и РР4А2 снабжены ПЗУ "Крест", элемент РР4А3 – ПЗУ "Бочка".

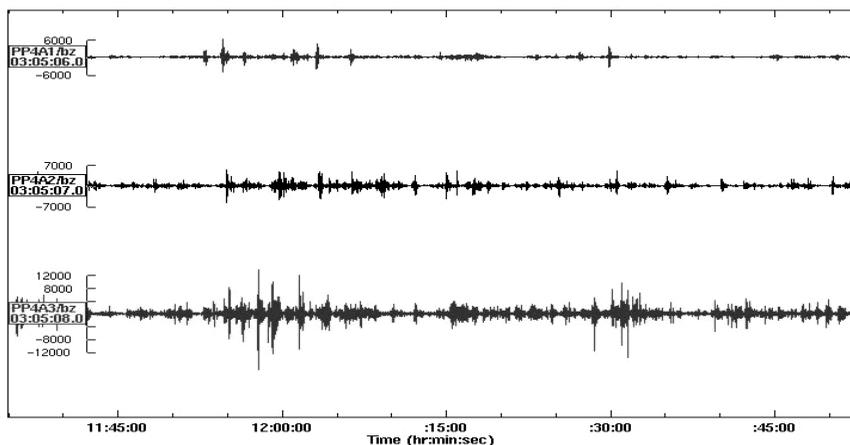


Рис. 3. Шумовая составляющая записи с использованием разных типов ПЗУ

Очевидно, что шумовая составляющая записи на аппаратуре с использованием ПЗУ "Крест" почти в 2 раза ниже, чем для "Бочки".

В процессе наблюдений установлено, что на распространение сигналов (в частности от промышленных взрывов) в атмосфере большое влияние оказывают метеорологические факторы, такие как температура воздуха, скорость ветра и его направление. Такое влияние замечено в результате совместной обработки акустических и сейсмических данных от карьерных взрывов. Энергия взрыва рассчитывалась по сейсмическому каналу. В результате анализа предварительно установлено, что при разных погодных условиях, но одних и тех же мощностях и от одних и тех же источников акустическая волна приходит с различными временами задержек.

В результате начальной опытной эксплуатации МААГ в интерактивном режиме зарегистрировано ряд акустических возмущений, порождаемых в частности:

- маломощными взрывами обычных взрывчатых веществ (карьерные взрывы);
- звуковыми ударами от самолетов (скачок уплотнения);
- суточными процессами в атмосфере;
- циклонической деятельностью (микробаромы).

Для примера, на рис. 4 представлена реализация акустического сигнала от промышленного взрыва на расстоянии 60 км от МААГ (оцениваемая мощность – 18 т ТНТ). При этом с помощью группы удалось не только выявить сигнал, но и определить его скорость и направление прихода.

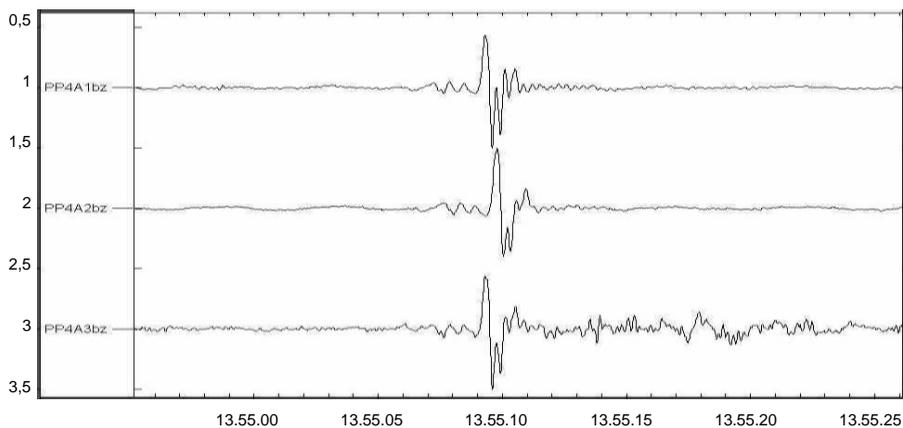


Рис. 4. Результаты регистрации карьерного взрыва

**Выводы.** Таким образом, в ГЦСК есть все необходимые средства и возможности для расширения инфразвуковых наблюдений как в рамках контроля за испытаниями ядерного вооружения иностранных государств, так и для регионального мониторинга опасных техногенных явлений на территории Украины и сопредельных государств.

Начальный этап опытной эксплуатации первой экспериментальной МААГ показал ее более высокую чувствительность по сравнению с одиночным датчиком, за счет возможности групповой обработки. Появилась возможность определения направления на источник акустических возмущений, но для повышения точности местоопределения источника необходимо создание и внедрение сети МААГ.

Дальнейшее создание и сертификация сети МААГ на базе ГЦСК позволит с минимальными затратами развить систему инфразвукового мониторинга Украины, что позволит решать задачи в том числе и сейсмоакустической разведки. При этом необходимо комплексирование обработки информации средств сейсмического и акустического группирования, а сигналы от промышленных взрывов возможно использовать как калибровочные, для обнаружения и оценки в дальнейшем любых техногенных сигналов взрывного характера на территории Украины и сопредельных государств. Рассмотренные подходы также могут быть использованы при

создании перспективных разведывательно-сигнализационных приборов.

Дальнейшие исследования будут направлены на оценку направленных свойств МААГ, эффективности внедрения оптимальных алгоритмов пространственной обработки. Учитывая также, что пока вся обработка информации МААГ ведется в интерактивном режиме, актуальным будет создание автоматизированного программного комплекса, позволяющего производить обнаружение акустических сигналов, определение параметров источника и классификацию зарегистрированных явлений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Haak H.W., G.J. de Wilde. *Microbarograph systems for the infrasonic detection of nuclear explosions // Scientific report WR 96-06., Roy. Neth. Meteo. Inst., De Bilt, the Netherland.* – 1996. – P. 210-234.
2. Szuberla C. A. L., Olson J. V. *Uncertainties associated with parameter estimation in atmospheric infrasound arrays // J. Acoust. Soc. Am.* – 2004. – № 115. – P. 253-258.
3. *Изделие К-304-А. Техническое описание. Ч. 1: НЕЯИ.406222.001 ТО.* – 1984. – 33 с.
4. McKisic J.M. *Infrasound and the Infrasonic Monitoring of Atmospheric Nuclear Explosions: A literature review // Final report PL-TR-97-2123. Department of Energy and Phillips Laboratory, Nat. Tech. Information Service.* – 1997. – 310 p.
5. John M. Noble, Tenney S.M. *Long Range Detection and Modeling of Sounding Rocket Launches // Proc. of the 2003 VACIMO Conference.* – Monterey (Canada). – 2003. – P. 324-341.
6. Gossard E.E., Hooke W.H. *Waves in the Atmosphere // Elsevier, N.Y.* – 1975. – 425 p.
7. Пастушенко Н.С., Солонец А.И. *Направленные свойства сейсмической группы как аналога решетки пассивных приемников // Радиотехника: Все-укр. межвед. науч.-техн. сб.* – Х.: ХГТУРЭ, 2000. – Вып. 116. – С. 60-63.
8. Голкін Д.В., Солонець О.І., Бутенко О.С., Гордієнко Ю.О. *Моніторинг сейсмонезбезпечних районів засобами сейсмічного групування // Системи обробки інформації.* – Х.: ХУПС, 2004. – Вип. 8 (36). – С. 67-70.
9. Сацук І.М., Качалін І.Г., Жовноватюк Р.М. *Оптимальний алгоритм просторової обробки сигналів, що реєструються сейсмічною групою // Інформаційні системи.* – Ж.: ЖВІРЕ, 2004. – Вип. 7. – С. 149-155.

Поступила 23.02.2006

**Рецензент:** доктор технических наук, старший научный сотрудник Г.В. Худов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.