

## **Многофункциональная сейсмоакустическая информационно-измерительная система для обнаружения движущихся наземных объектов**

*Н.С. Акиншин<sup>1</sup>, Д.А. Хомяков<sup>1</sup>, В.Л. Меньшиков<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения»,  
г. Тула, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ «3-й Центральный научно-исследовательский институт»  
Минобороны России, г. Москва, Россия

*nakinshin@yandex.ru*

Создание информационно-измерительной системы (ИИС), реализующей принцип многоканальной обработки, позволит использовать ее как локальную разностно-дальномерную систему с увеличенной дальностью обнаружения, способную определять текущие полярные координаты движущихся одиночных и групповых объектов.

Предложена структура ИИС в виде антенной решетки с адаптивной обработкой информации, поступающей от одиночных приемников. Координаты определяются разностно-дальномерным методом с учетом ветра при использовании алгоритма Ньютона. Теоретически и экспериментально проверены методы решения задачи определения местоположения объекта для ИИС, состоящих из  $n$  приемников, по точности определения координат. Показано, что с увеличением числа датчиков ИИС увеличивается дальность обнаружения движущегося объекта.

Разработанная структура ИИС позволяет реализовать принцип многоканальной обработки. Суть принципа – в применении нескольких одиночных сейсмоакустических приемников, разнесенных друг от друга на некоторой площади и конструктивно объединенных с помощью центрального прибора в многопунктную систему, функционирующую в едином масштабе времени.

*Ключевые слова:* разностно-дальномерная система; антенная решетка; обнаружение объектов.

Для цитирования: Акиншин Н.С., Хомяков Д.А., Меньшиков В.Л. Многофункциональная сейсмоакустическая информационно-измерительная система для обнаружения движущихся наземных объектов // Изв. вузов. Электроника. – 2018. – Т. 23. – № 1. – С. 98–102. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-1-98-102

## Multifunctional Seismic-Acoustic Information-Measuring System for Detecting Moving Ground Objects

N.S. Akinshin<sup>1</sup>, D.A. Khomyakov<sup>1</sup>, V.L. Menshikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JSC Central Design Bureau of Apparatus Engineering, Tula, Russia

<sup>2</sup>3rd Central Research Institute of the Ministry of Defence of Russia, Moscow, Russia

nakinshin@yandex.ru

Creation of the information-measuring system (IMS), in which the principle of multichannel processing is implemented, will allow using it as a local differential-distance system with an increased distance of detection, capable of determining current polar coordinates of moving single and group objects.

The structure of the IMS in the form of an antenna array with adaptive processing of the information, coming from a single receiver, has been proposed. The coordinates have been determined by the differential-distance method taking into account the wind when using the Newton algorithm. The theoretical and experimental verification of the methods for solving the problem of determining the object location for IMS, consisting of receivers in the accuracy of determining the coordinates, has been carried out. It has been shown that with increasing the number of the IMS sensors the detection range of moving objects increases.

The developed IMS structure allows an implementation of the multichannel processing principle, the essence of which consists in application of a few single seismic-acoustic receivers distributed with respect to each other on a certain area and constructively combined using the central device into a multipoint system, functioning in the single time scale.

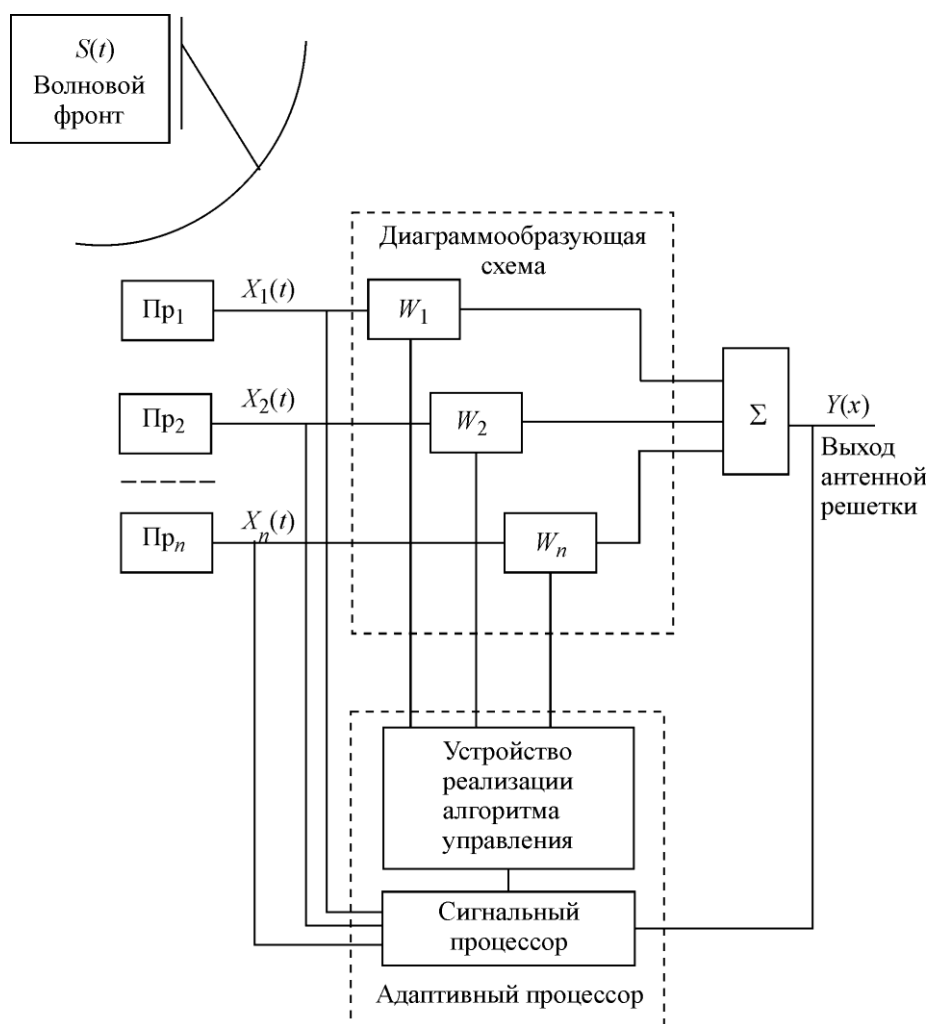
*Keywords:* differential-distance measuring system; antenna array; detection of objects.

*For citation:* Akinshin N.S., Khomyakov D.A., Menshikov V.L. Multifunctional seismic-acoustic information-measuring system for detecting moving ground objects // Proc. of Universities. Electronics. – 2018. – Vol. 23. – № 1. – P. 98–102. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-1-98-102

Для решения задачи обнаружения, распознавания и определения местоположения различных типов объектов с помощью многофункциональной сейсмоакустической информационно-измерительной системы (ИИС) в ней должен быть реализован принцип многоканальной обработки [1, 2]. Создание такой ИИС позволит использовать ее как локальную разностно-дальномерную систему с увеличенной дальностью обнаружения, способную определять текущие полярные координаты движущихся одиночных и групповых объектов [2]. В качестве такой ИИС можно выбрать антенную решетку с адаптивной обработкой информации, поступающей от одиночных приемников [3–5]. Обобщенная структурная схема  $n$ -элементной адаптивной антенной решетки приведена на рисунке.

Основным параметром объекта в разностно-дальномерной системе является разность дальностей  $p = D_1 - D_2$ , где  $D_1$  и  $D_2$  – расстояния от объекта до точек установки одиночных сейсмоакустических приемников. Выразив значения дальностей  $D_1$  и  $D_2$  через координаты сейсмоакустических приемников  $(X_1, Y_1)$  и  $(X_2, Y_2)$  и объекта, заданного точкой Ц с координатами  $(X_{Ц}, Y_{Ц})$ , получим исходное уравнение линии положения (гиперболы):

$$\sqrt{(X_{Ц} - X_1)^2 + (Y_{Ц} - Y_1)^2} - \sqrt{(X_{Ц} - X_2)^2 + (Y_{Ц} - Y_2)^2} = p,$$



Обобщенная структурная схема  $n$ -элементной адаптивной антенной решетки:  $Pr_i$  – акустические (сейсмические) приемники;  $W_i$  – устройства, реализующие введение соответствующих весовых коэффициентов по каналам приема;  $\Sigma$  – суммирующее устройство;  $x_i(t)$  – выходные сигналы с приемников

Generalized block diagram of an  $n$ -element adaptive antenna array:  $Pr_i$  – acoustic (seismic) receivers;  $W_i$  – wireless devices implementing setup of appropriate weighting factors for the channels reception;  $\Sigma$  – totalizer;  $x_i(t)$  – output signals from receivers

где  $p = C(t_1 - t_2)$ ;  $C$  – скорость распространения акустической (сейсмической) волны;  $t_1, t_2$  – время прихода переднего фронта акустической (сейсмической) волны к сейсмоакустическим приемникам  $M_1$  и  $M_2$  соответственно.

Система уравнений для решения задачи определения местоположения разностно-дальномерным методом при наличии трех приемников имеет вид

$$\begin{cases} \sqrt{(X_{Ц} - X_1)^2 + (Y_{Ц} - Y_1)^2} - \sqrt{(X_{Ц} - X_2)^2 + (Y_{Ц} - Y_2)^2} = p_1, \\ \sqrt{(X_{Ц} - X_2)^2 + (Y_{Ц} - Y_2)^2} - \sqrt{(X_{Ц} - X_3)^2 + (Y_{Ц} - Y_3)^2} = p_2. \end{cases}$$

При наличии ветра происходит смещение центра сферической звуковой волны и величины  $C(t_1 - t_2)$  и  $C(t_1 - t_3)$ , непосредственно измеряемые с помощью акустической аппаратуры, не будут являться параметрами объекта Ц, поскольку они соответствуют разностям расстояний

$M_1\Pi_1 - M_2\Pi_2$  и  $M_1\Pi_1 - M_3\Pi_3$  и не характеризуют истинных линий положения. Необходимо в качестве еще одного неизвестного параметра ввести значение момента появления объекта  $t_0$ . Тогда исходная система уравнений для трех сейсмоакустических приемников имеет вид

$$\begin{cases} [X_{\Pi} - X_1 + W \cos \alpha_w(t_1 - t_0)]^2 + [Y_{\Pi} - Y_1 + W \sin \alpha_w(t_1 - t_0)]^2 = p_1, \\ [X_{\Pi} - X_2 + W \cos \alpha_w(t_2 - t_0)]^2 + [Y_{\Pi} - Y_2 + W \sin \alpha_w(t_2 - t_0)]^2 = p_2, \\ [X_{\Pi} - X_3 + W \cos \alpha_w(t_3 - t_0)]^2 + [Y_{\Pi} - Y_3 + W \sin \alpha_w(t_3 - t_0)]^2 = p_3, \end{cases} \quad (1)$$

где  $p_1 = C(t_1 - t_0)$ ;  $p_2 = C(t_2 - t_0)$ ;  $p_3 = C(t_3 - t_0)$ .

Приведенную систему уравнений можно представить как  $F_i(X_i) = 0$ , где  $i$  – номер переменной. Решение системы типа (1) может быть осуществлено и в явном виде, например методом линеаризации [3].

Методы решения задачи определения местоположения объекта для ИИС, состоящих из  $n$  приемников, теоретически и экспериментально проверены, в том числе по точности определения координат. В результате проверки установлено, что с помощью одной ИИС удовлетворительно может решаться задача только определения пеленга. При этом среднеквадратичная ошибка его вычисления по экспериментальным данным (таблица) составляет один градус при радиусе расстановки пяти одиночных акустических приемников 25 м. Увеличение радиуса расстановки до 50 м приводит к уменьшению ошибки в два раза.

**Ошибки определения пеленга на движущийся объект, полученные в ходе натурных испытаний акустической ИИС**

**Error of determination of bearing on a moving object obtained during field testing of acoustic devices, consisting of 5 single acoustic receivers**

Дальность до объекта, м	Истинное направление на объект, град	Опыт 1		Опыт 2		Опыт 3		Опыт 4	
		$\alpha_{\text{изм}}$	$\Delta\alpha$	$\alpha_{\text{изм}}$	$\Delta\alpha$	$\alpha_{\text{изм}}$	$\Delta\alpha$	$\alpha_{\text{изм}}$	$\Delta\alpha$
200	241	241	0	241	0	241	0	241	0
246	264	263	-1	261	-2	262	-2	-	-
346	278	278	0	279	1	278	0	276	-2
401	287	284	-3	287	0	288	1	283	-4
499	290	289	-1	289	-1	291	1	290	0
584	293	293	0	-	-	293	0	291	-2
678	297	296	-1	296	-1	296	-1	298	1
775	299	298	-1	-	-	300	1	297	-2
869	301	-	-	301	0	-	-	-	-

Примечание.  $\alpha_{\text{изм}}$  – измеренное значение пеленга;  $\Delta\alpha$  – погрешность измерения пеленга.

Наиболее сложным является решение задачи обнаружения, распознавания и определения количества разнотипных одиночных объектов в составе группового объекта. Это относится к движущимся и неподвижным объектам, в том числе к стреляющим артиллерийским и минометным батареям.

Предварительная оценка дальности обнаружения объектов  $D$  при использовании ИИС может быть проведена с помощью следующих зависимостей:  $D = d_a \sqrt{n}$ ;  $D = d_c n$ , где  $d_a$ ,  $d_c$  – дальность обнаружения однокомпонентных акустических и сейсмических приемников соответственно;  $n$  – количество акустических и сейсмических приемников.

Экспериментальные данные по дальности обнаружения по акустическому сигналу следующие: при одном датчике – 200 м, при двух – 230 м, трех – 250 м, четырех – 500 м, пяти – 870 м. Полученные данные свидетельствуют о том, что при количестве датчиков в составе ИИС, равном 20, и дальности обнаружения одиночной ИИС 300 м суммарная дальность обнаружения по акустическому сигналу может составить 1,3–1,4 км, по сейсмическому – 6–8 км.

Таким образом, для решения задачи обнаружения и определения местоположения различных типов объектов с помощью одной многофункциональной сейсмоакустической ИИС предлагается реализовать принцип многоканальной обработки. Сущность данного принципа состоит в применении нескольких одиночных сейсмоакустических приемников, разнесенных друг от друга на некоторой площади и конструктивно объединенных с помощью центрального прибора (блока обработки) в многопунктную систему, функционирующую в едином масштабе времени. При этом с увеличением числа датчиков увеличивается дальность обнаружения объекта.

### Литература

1. Казаков К.Ю., Иванов К.В., Гончаров В.В. Обобщенная схема получения, передачи и обработки информационных комплексов сигнализационных средств: сб. науч. тр. ТАИИ. – Тула: ТАИИ, 2006. – С. 225–229.
2. Казаков К.Ю., Минаков Е.И. Принципы построения микропроцессорных акустико-сейсмических информационно-измерительных систем // Тр. XV Междунар. конф. «Радиолокация и радиосвязь». – М.: ИРЭ РАН, 2007. – С. 439–442.
3. Хомяков Д.А., Амнинов Э.В. Алгоритм обработки сигналов в адаптивных антенных решетках // Вестник ТАИИ. – 2010. – Вып. 4. – С. 34–39.
4. Акиншин Р.Н., Хомяков Д.А., Амнинов Э.В. Оценка влияния помех на обработку сигналов в адаптивных антенных решетках // Научный вестник МГТУГА. Сер. Радиофизика и радиотехника. – 2012. – № 10. – С. 78–89.
5. Курбатский С.А., Новиков А.В., Хомяков Д.А. Алгоритм вычисления вектора весовых коэффициентов в адаптивной антенной решетке // Изв. ТулГУ. – 2012. – Вып. 9. – С. 279–287.

Поступило 19.07.2017 г.; принято к публикации 09.11.2017 г.

**Акиншин Николай Степанович** – доктор технических наук, профессор, начальник отдела АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения» (Россия, 300034, г. Тула, ул. Демонстрации, д. 36), [nakinshin@yandex.ru](mailto:nakinshin@yandex.ru)

**Хомяков Денис Александрович** – ведущий инженер АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения» (Россия, 300034, г. Тула, ул. Демонстрации, д. 36).

**Меньшиков Валерий Львович** – начальник отдела ФГБУ «3-й Центральный научно-исследовательский институт» Минобороны России (Россия, 107564, г. Москва, Погонный пр., д. 10).

### References

1. Kazakov K.Yu., Ivanov K.V., Goncharov V.V. Obobshchennaya skhema polucheniya, peredachi i obrabotki informacionnykh kompleksov signalizacionnykh sredstv [Generalized scheme for obtaining, transmitting and processing information systems signal funds]. *Sb. nauchnykh trudov TAI – Collection of scientific works of TAI*, 2006, pp. 225–229. (In Russian).
2. Kazakov K.YU., Minakov E.I. Principy postroeniya mikroprocessornykh akustiko-sejsmicheskikh informacionno-izmeritel'nykh sistem [Principles of construction of microprocessor-based acoustic-seismic information-measuring systems]. *Trudy XV Mezhdunarodnoj konferencii «Radiolokaciya i radiosvyaz'»* [Proceedings of the XV International conference «Radiolocation and radio communication»]. Moscow, IRE RAS Publ., 2007, pp. 439–442. (In Russian).
3. Homyakov D.A., Amninov E.V. Algoritm obrabotki signalov v adaptivnykh antennnykh reshetkah [Algorithm of signal processing in adaptive antenna arrays]. *Vestnik TAI*, 2010, iss. 4, pp. 34–39. (In Russian).
4. Akinshin R.N., Homyakov D.A., Amninov E.V. Ocenka vliyaniya pomekh na obrabotku signalov v adaptivnykh antennnykh reshetkah [Assessment of the impact of interference on the signal processing for adaptive antenna arrays]. *Nauchnyj vestnik MGTUGA. Ser. Radiofizika i radiotekhnika – Scientific Herald MGTUGA. Ser. Radio physics and radio*, 2012, no. 10, pp. 78–89. (In Russian).
5. Kurbatskij S.A., Novikov A.V., Homyakov D.A. Algoritm vychisleniya vektora vesovykh koefficientov v adaptivnoj antennoj reshetke [Algorithm for computing the weight vector in the adaptive antenna lattice]. *Izvestiya TulGU*, 2012, iss.9, pp.279–287. (In Russian).

Submitted 19.07.2017; accepted 09.11.2017.

**Akinshin Nikolai S.** – Dr. Sci. (Eng.), Prof., head of the Department, JSC Central Design Bureau of Apparatus Engineering (Russia, 300034, Tula, Demonstratsii str., 36), [nakinshin@yandex.ru](mailto:nakinshin@yandex.ru)

**Khomyakov Denis A.** – leading engineer, JSC Central Design Bureau of Apparatus Engineering (Russia, 300034, Tula, Demonstratsii str., 36).

**Menshikov Valery L.** – head of the Department, 3rd Central Research Institute of the Ministry of Defence of Russia (Russia, 107564, Moscow, Pogonnyj proezd, 10).