

УДК 004.42

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ В ГРУНТ, ПРИ УДАРЕ О ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ ИСПЫТАНИЙ

**Оркуша Роман Викторович,**

Научный сотрудник,

Войсковая часть 25522, Камчатский край, п. Ключи

Россия, п. Ключи

orkusha.roman@yandex.ru

### Аннотация

Сейсмоакустические системы, по праву заслужили звание уникальных систем, применяющихся для решения широкого спектра специфических задач в различных отраслях. Их применение началось в начале XX века, в вулканологии. В последующие годы с развитием науки и техники, системы источником информации которых являются сейсмические и акустические колебания нашли широкий спектр применения.

В настоящей статье описан эффективный метод определения сейсмоакустическими системами оперативных координат и глубины проникновения в грунт различных объектов испытаний, обладающих высокой кинетической энергией способной вызвать сейсмические колебания, при ударе их о земную поверхность. Данный метод основан на принципе использования измерительной информации зарегистрированной сейсмическими приемниками от движения верхних слоев земной коры после удара о нее объекта испытаний, с применением разностно-дальномерного способа, с конечным результатом в виде координат точки останова объекта.

Реализация разностно-дальномерного метода определения координат источника возбуждения сейсмических колебаний, в программно-математическом обеспечении сейсмоакустических систем, позволит исключить ошибки возникающие из-за человеческого фактора, при проведении расчетов «ручным способом», а также значительно сократить время проведения расчетов.

**Ключевые слова:** алгоритм, объект испытаний, оперативные координаты, сейсмоакустическая система, пункт обнаружения сейсмическая волна.

## DETERMINATION OF THE LOCATION AND DEPTH OF PENETRATION INTO THE GROUND, UPON IMPACT ON THE EARTH'S SURFACE OF VARIOUS TEST OBJECTS

**Orkusha Roman Victorovich,**

Research associate

Military unit 25522, Kamchatca Territory, village of Klyuchi

orkusha.roman@yandex.ru

## ABSTRACT

Seismoacoustic systems have rightfully earned the title of unique systems used to solve a wide range of specific problems in various industries. Their use began at the beginning of the 20th century in volcanology. In subsequent years, with the development of science and technology, systems whose source of information are seismic and acoustic vibrations have found a wide range of applications.

This article describes an effective method for determining the operational coordinates and depth of penetration into the ground of various test objects with high kinetic energy capable of causing seismic vibrations when they hit the earth's surface using seismoacoustic systems. This method is based on the principle of using measurement information recorded by seismic receivers from the movement of the upper layers of the earth's crust after the test object hits it, using the difference-range method, with the final result in the form of coordinates of the stopping point of the object. The implementation of the difference-range method for determining the coordinates of the source of excitation of seismic vibrations in the software and mathematical support of seismoacoustic systems will eliminate errors arising due to the human factor when performing calculations "manually", and also significantly reduce the time for performing calculations.

**Keywords:** algorithm, test objects, operational coordinates, seismic-acoustic system, detection point, seismic wave.

В настоящее время для решения специфических задач в некоторых отраслях промышленности широко применяются сейсмоакустические системы.

Основной целью применения сейсмоакустических систем является оперативное определение местоположения и точного времени возникновения ожидаемого или неожиданного явления (наземного или воздушного взрыва, удара о земную поверхность высокоэнергетического объекта и т.д.) [3].

Принцип работы сейсмоакустических систем основан на разностно-дальномерном методе определения координат источника возбуждения сейсмических и акустических колебаний. В данном методе основным параметром является разность времени прихода сигналов от источника возбуждения до пунктов обнаружения (далее ПО). Сигналы, полученные от сейсмических и акустических датчиков, преобразуются в электрические сигналы, которые передаются от приемопередатчиков ПО, на приемники информации в составе аппаратуры центра сбора и обработки зарегистрированной измерительной информации. Далее измерительная информация при помощи специального программно-математического обеспечения преобразуется в конечный результат - оперативные координаты и время возникновения явления.

Рассмотрим общую систему, в которой реализован разностно-дальномерный метод определения координат источника возбуждения. В данном методе навигационным параметром является разность дальностей от объекта до двух ПО [1]. Поверхностью положения в этом случае будет двухполостный гиперболоид вращения. Разность расстояний от фокусов гиперболоида (фокусами являются пункты обнаружения) до любой точки его поверхности остается постоянным (ПО установлены стационарно с координатным определением местоположения) [2].

Так как для определения местоположения в пространстве необходимо определить точку пересечения трех поверхностей положения, то разностно-дальномерная система состоит как минимум из трех ПО.

При определении местоположения источника возбуждения в плоскости точка пересечения поверхности трансформируется в точку пересечения гипербол, как показано на рисунке 1.

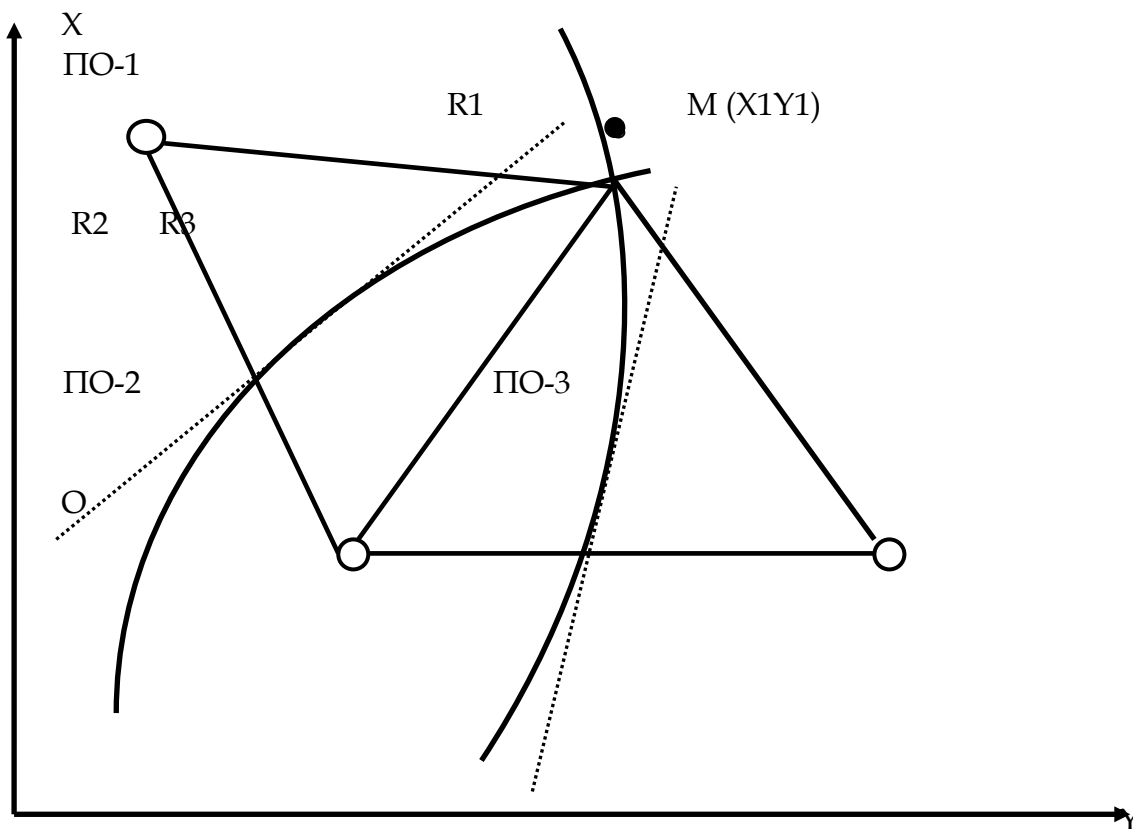


Рис. 1 Схема реализации, разностно-дальномерного метода определения координат источника возбуждения.

Пусть известно, что в зоне расположения ПО, находится источник возбуждения сигнала, при этом на всех ПО зафиксированы времена прихода сигналов от данного источника.

Необходимо определить координаты места положения данного источника.

Для решения данной задачи используем данные ПО-1 и ПО-2. Зная времена прихода сигналов на ПО-1 и ПО-2 –  $t_1, t_2$ , и скорость распространения данных сигналов в пределах расположения ПО, составим уравнение:

$$R = V \cdot t \quad (1)$$

Расстояние и время представим в виде разностей расстояний между ПО  $R_2 - R_1$  и разностью прихода сигналов  $t_2 - t_1$ , тогда [4]:

$$R_2 - R_1 = (t_2 - t_1) \cdot V \text{ или } \Delta R = \Delta t \cdot V \quad (2)$$

По разности времен прихода сигналов на ПО и известной скорости найдем разность дальности  $\Delta R$  и по ней уже построим гиперболу.

Построение гиперболы производится на основе ее свойства: «разница расстояний от точки на гиперболу до ее фокусов есть величина постоянная» [4].

Рассмотрим вторую пару ПО: ПО-2 и ПО-3 и по данным, принадлежащим им  $\Delta R = R_3 - R_2, \Delta t = t_3 - t_2$  построим вторую гиперболу.

Полученная точка М, с координатами  $X_1, Y_1$  и является искомой точкой сигнала возбуждения.

В зависимости от компоновки сейсмоакустических систем датчиковой аппаратурой, конечный результат о явлении можно получить по данным обработки сейсмических акустических, инфразвуковых и баллистических волн.

Рассмотрим метод определения сейсмоакустическими системами оперативных координат и глубины проникновения в грунт различных объектов испытаний используя.

При ударе объекта испытаний о земную поверхность, возникают волновые процессы в грунте, характер которых зависит от размера и кинетической энергии самого объекта, глубины очага возбуждения и местных грунтово-геологических условий.

В данном случае источник колебаний движется от поверхности земли в глубину. При перемещении источника волны возбуждаются в каждой точке его траектории. Смещение в точке приема может быть представлено в виде векторной суммы смещений, вызванных волнами, доходящими до точки приема вдоль радиус-векторов, соединяющих точки приема с точками траектории источника. Вдоль каждого радиус-вектора первой идет продольная сейсмическая волна, последней – поперечная, между ними следуют волны, имеющие промежуточные скорости. Длительность действия волны возрастает с удалением от источника.

Очевидно, что объект, при движении в грунте будет создавать сейсмическую волну, фронт которой имеет форму конуса (по аналогии с баллистической волной) [3]. Для регистрации конусообразной сейсмической волны необходимо установить пункты обнаружения с сейсмоприемниками в грунт на глубину, не сильно превосходящую расчетную глубину проникновения объекта испытаний. С помощью образованных вертикальных баз можно измерить параметры объекта испытаний в грунте. Схема измерений, поясняющая реализацию принципа определения глубины проникновения объекта испытаний, приведена на рисунке 2.

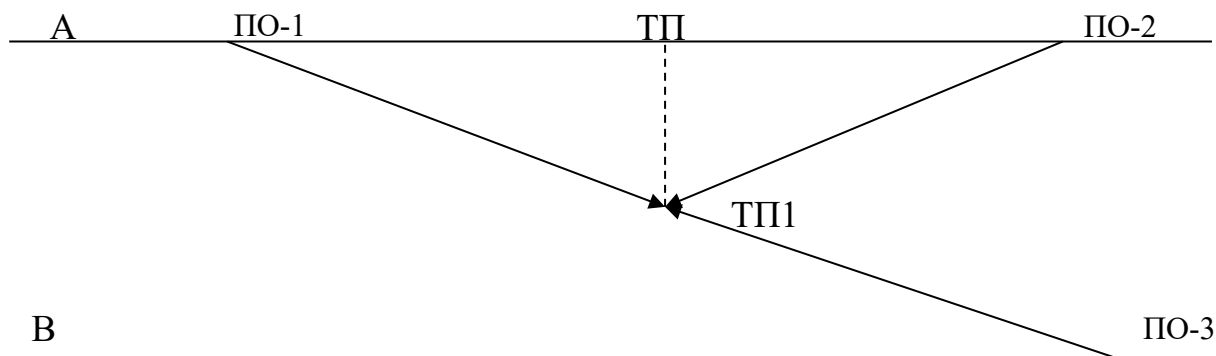


Рис. 2 Схема определения глубины проникновения объекта испытаний в грунт.

ПО 1,2 располагают во взаимно сопряженных точках, а ПО 3 – на отражающей границе в общей точке отражения волны.

Известно:

- координаты трех ПО и точки падения объекта (далее ТП);
- скорость распространения сейсмических волн в слое АВ;
- время остановки объекта ( $t_0$ ) в слое АВ.

С помощью датчиков трех ПО, измеряют времена «последних» вступлений сейсмических волн, характеризующих момент остановки объекта испытаний в слое АВ ( $t_1, t_2, t_3$ ). Координаты проникновения блока вычисляют, используя следующую систему уравнений[5]:

$$\begin{aligned} (x_1-x')^2+(y_1-y')^2+(z_1-z')^2 &= V^2(t_1-t_0)^2 \\ (x_2-x')^2+(y_2-y')^2+(z_2-z')^2 &= V^2(t_2-t_0)^2 \\ (x_3-x')^2+(y_3-y')^2+(z_3-z')^2 &= V^2(t_3-t_0)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

где  $x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3, z_1, z_2, z_3$  – координаты ПО;  
 $x', y', z'$  – координаты ТП1;  
 $t_1, t_2, t_3$  – времена «последних» вступлений сейсмических волн;  
 $t_0$  – время остановки объекта в слое АВ.

Используя известные координаты точки падения и вычисленные координаты ТП1 (точки проникновения), определяют глубину проникновения объекта по следующей формуле [5]:

$$H = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}, \quad (4)$$

где  $x', y', z'$  – координаты ТП1;  
 $x, y, z$  – координаты ТП.

Таким образом, использование данной математической модели в специальном программном обеспечении сейсмоакустических систем позволяет оперативно и с достаточной достоверностью определять координаты и глубину проникновения в грунт различных объектов испытаний.

#### Список литературы:

1. Магницкий В.А. Основы физики Земли – М: Издательство геодезической литературы 1963 г. – 142 с.
2. Куличков С.Н. Дальнее распространение звука в атмосфере (обзор) // Известия Академии наук/ Физика атмосферы и океана. - М.: Наука, 1992 г. – 315 с.
3. Головин Н.Я. Артиллерийские акустические приборы. Издание артиллерийской академии РККА им. Дзержинского. Ленинград 1937 г. – 103 с.
4. Корн Ф.Д., Корн М.С. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Москва «Наука», Главная редакция физико-математической литературы. 1984 г. – 831 с.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы. 1986 г. – 608 с.

#### References:

1. Magnitsky V.A. Fundamentals of Physics of the Earth - M: Publishing House of Geodetic Literature 1963 - 142 p.
2. Kulichkov S.N. Long-range propagation of sound in the atmosphere (review) // Bulletin of the Academy of Sciences / Physics of the atmosphere and ocean. - M.: Nauka, 1992 - 315 p.
3. Golovin N.Ya. Artillery acoustic devices. Publication of the Artillery Academy of the Red Army named after Dzerzhinsky. Leningrad 1937 - 103 p.
4. . Korn F.D., Korn M.S. Handbook of Mathematics for scientists and engineers. Moscow "Science", Main Editorial Board of Physics and Mathematics Literature. 1984 - 831 p.
5. Bronstein I.N., Semendyaev K.A. Handbook of Mathematics for Engineers and Students of Higher Technical Education Institutions. Nauka Publishing House, Main Editorial Board of Physics and Mathematics Literature. 1986 – 608 p.