© Л.В. Винокуров, 2006

УДК 622.81:24

Л.В. Винокуров

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

Семинар № 4

Известно, что при подземном ядерном взрыве образуется, в первом приближении, сейсмическая волна в виде сферы с центральной симметрией, при этом для определения координат подземного ядерного взрыва использовалась методика, разработанная сейсмологами.

«К сожалению «обычные» точности лоцирования очагов землетрясений низки» – указывает академик РАЕН Шебалин Н.В. Ошибка достигает 10-100 км и более.

Для быстрого реагирования и приборного определения координат и сейсмической энергии подземного ядерного взрыва требуется создание портативных легко устанавливаемых на местности технических средств. В настоящее время мной выполнены теоретические исследования и конструктивные разработки по созданию таких средств.

В основе теоретических исследований лежит теорема о вращающейся прямой вокруг центра равностороннего треугольника. Ниже приводится ее формулировка.

Если некоторая прямая UV, первоначально совпадающая с биссектрисой AD равностороннего треугольника ABC со стороной l вращается в плоскости треугольника вокруг его центра O (см. рис. 1), то проекции S_1, S_2, S_3 сторон треугольника на эту прямую изменяются по закону синуса, т.е.

$$S_1 = l\sin(60^0 + \varphi),\ S_2 = l\sin\varphi,\quad S_3 = l\sin(60 - \varphi) \qquad (1)$$

Доказательство. Перемещая прямую UV параллельно своему первоначальному положению до угла A, получим два прямоугольных треугольника ACC’ и ABB’, из которых для проекций получим значения

$A'C' = S1 = l\sin(60^\circ + \varphi)$

$A'B' = S3 = l\sin(60^\circ - \varphi)$.

Перемещая прямую UV до угла C, получим треугольник BCB′, из которого получим проекцию

$B'C' = S2 = l\sin\varphi$,

что и требовалось доказать.

Из этой теоремы следует, что, если проекции сторон равностороннего треугольника определены, то положение прямой UV относительно заданного начала отсчета AD определяется однозначно путем использования обратных тригонометрических функций.

Для удобства использования теоремы в целях определения направления (пеленга) на источник излучения сейсмоимпульса целесообразно принять вместо прямой UV нормаль к фронту сейсмоволны, проходящую через центр треугольника, а вместо проекций, соответственно, временные задержки t_1, t_2, t_3.

В общем случае

$$T = S/V, \qquad (2)$$

где V – скорость распространения продольной сейсмоволны в объеме треугольника ABC; S – путь пройденный сигналом, равный l; T – время прохождения пути, равное l/V.

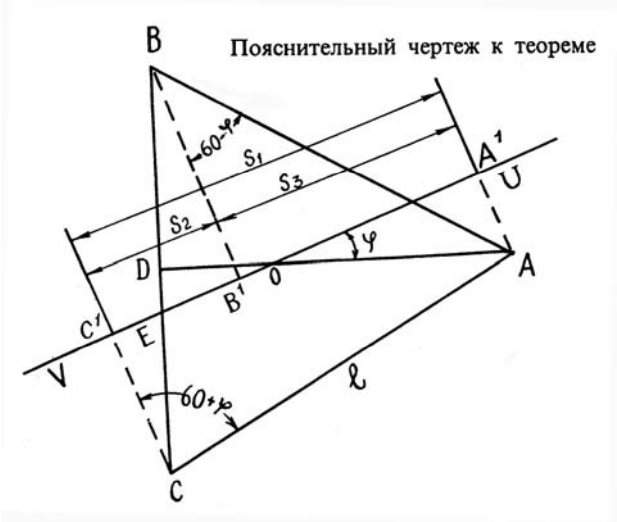


Рис. 1. Определение проекций сторон треугольника

Тогда для задержек времени получим

$$t_1 = T\sin(60^0 + \varphi),\ t_2 = T\sin\varphi,$$

$$t_3 = T\sin(60^0 - \varphi) \qquad (3)$$

Если задержки времени измерены, то пеленг (угол φ) однозначно определяется из соотношений (3). Однако для большей точности определения пеленга целесообразно использовать меньшую задержку, так как при изменении аргумента в окрестности нуля синусоидальная функция имеет большую скорость роста и хорошую линейность.

На основе теоремы и приведенных рассуждений был разработан алгоритм (рис. 2) для ЭВМ, который позволяет по сигналу определять пеленг ядерного взрыва в реальном времени с помощью системы технических средств.

Технические средства представляют собой систему, включающую равносторонний треугольник из пенопласта, сторона может иметь размеры от 100 мм до 500 мм, в вершинах треугольника установлены сейсмоприемники. Треугольник устанавливается на коренных породах горизонтально.

Система (рис. 3) содержит три канала приема сейсмосигнала от взрыва. Каждый канал состоит из последовательно соединенных сейсмоприемника *1*, усилителя *2*, компаратора *3*, триггера *4* и счетчика *5*. Система также содержит схему совпадения *6*, включенную параллельно триггерам *4*, генератор тактовых импульсов *7*, подключенный к счетчикам *5*, мультиплексор *8,* подключенный к выходам счетчиков *5* и к входу ЭВМ *9*, измерительный блок *10*, включенный к выходу усилителя *2* и входу ЭВМ *9*.

Система работает следующим образом.

Предположим, при подземном ядерном взрыве с направления А сейсмический сигнал достигает сейсмоприемника *1* среднего канала, усиливается усилителем *2* и поступает на компаратор *3.* Если сигнал по уровню больше порога срабатывания компаратора *3*, то он проходит и опрокидывает триггер *4*, при этом включается счетчик *5* и считает импульсы, вырабатываемые генератором тактовых импульсов *7*. Одновременно с триггера *4* сигнал подается на схему *6* совпадения. Через некоторое время сигнал от очага взрыва достигает второго сейсмоприемника *1* (левый канал). При этом в левом канале, как и в предыдущем случае, срабатывают аналогичные элементы системы, и счетчик *5* левого канала тоже начинает считать импульсы, поступающие с генератора *7.* С приходом сигнала от взрыва к третьему сейсмоприемнику *1* срабатывают все элементы этого канала. При срабатывании триггера *4* этого канала на входе схемы совпадения *6* одновременно присутствуют три сигнала, схема совпадения *6* срабатывает. При этом от ее выходного сигнала триггеры возвращаются в исходное со-

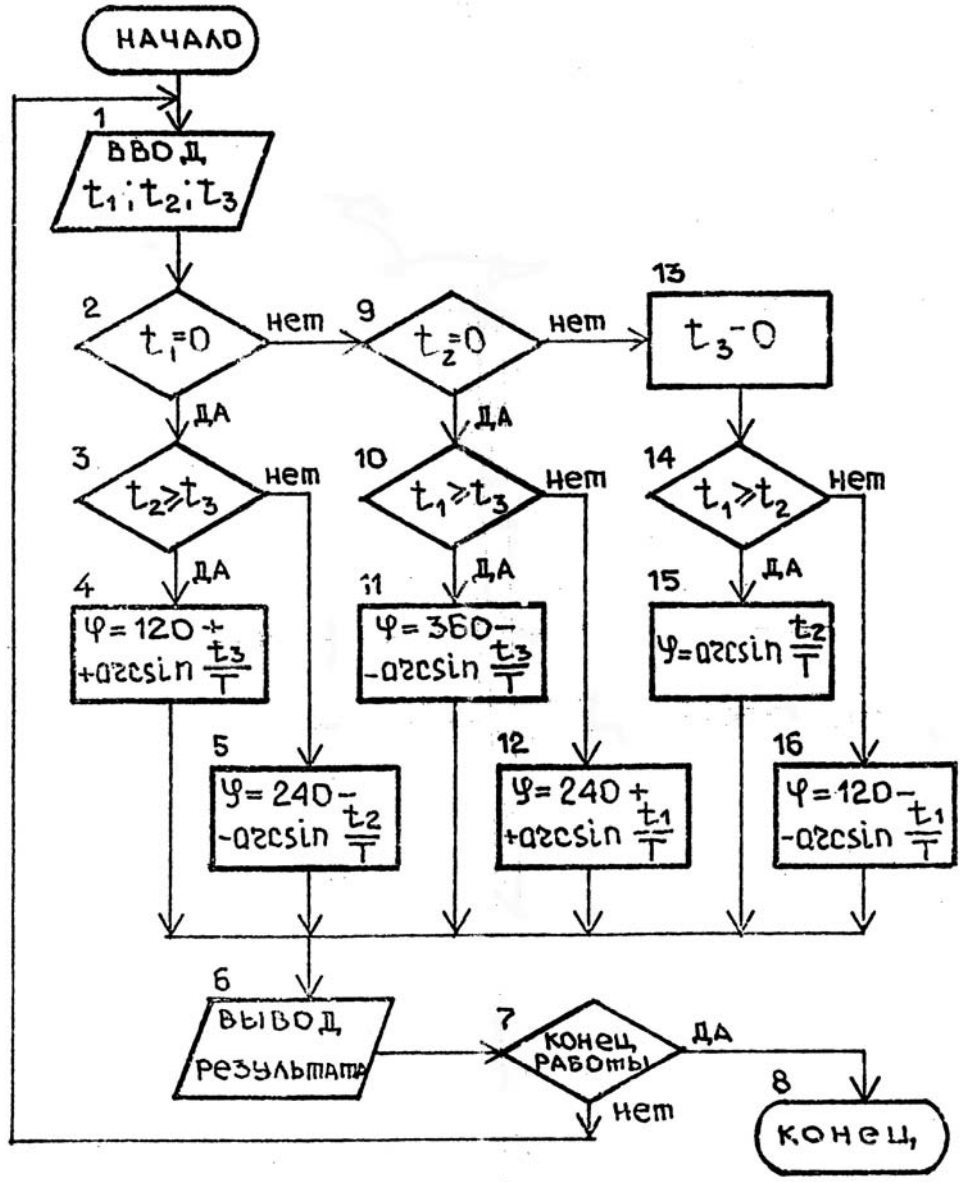
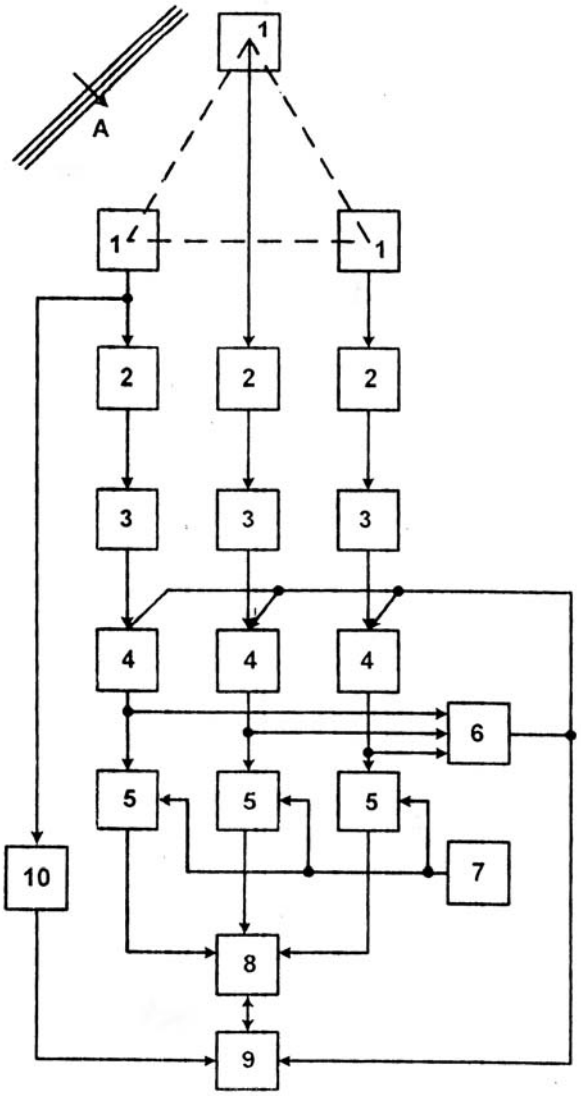


Рис. 2. Алгоритм определения пеленга на источник сейсмоакустического импульса

стояние, счетчики *5* прекращают считать импульсы, а ЭВМ
9 через мультиплексор *8* считывает показания счетчиков *5*, вычисляет пеленг источника сейсмических колебаний и запоминает результат. С выхода усилителя *2* одного из каналов сигнал поступает на вход измерительного блока *10*, который измеряет величину амплитуды и период по принципу аналого-цифрового преобра-

Рис. 3. Блок-схема системы определения координат



зования и передает результат в ЭВМ *9* для регистрации. Имеется возможность вычислить энергию взрыва.

Высокая точность определения пеленга на плоскости будет в том случае, когда точка излучения сигнала и равносторонний треугольник с сейсмоприемниками размещены в одной плоскости. С увеличением угла между направлением на очаг взрыва и плоскостью треугольника увеличивается ошибка в определении пеленга, которая при 20^0 достигает 6 %.

При исследовании возможностей определения координат гипоцентра в реальном времени проблема была решена дальнейшими разработками теории для полупространства. Было выяснено, что с увеличением угла места β все проекции сторон равностороннего треугольника на вращающуюся прямую UV уменьшаются. При этом найдена закономерность, что уменьшение одной малой временной задержки влечет уменьшение значений пеленга φ_1, а уменьшение другой – к увеличению пеленга φ_2 на такую же величину. Отсюда следует, что действительный (точный) пеленг на эпицентр может быть определен по формуле

$$\varphi = (\varphi_1 + \varphi_2)/2 \qquad (4)$$

Таким образом, имеется возможность определить пеленг на эпицентр взрыва, не взирая на ориентацию треугольника относительно местоположения взрыва. Для этого необходимо выполнить следующие операции (см. рис. 4).

1. Определить скорость продольной волны V_p горного массива под треугольником.

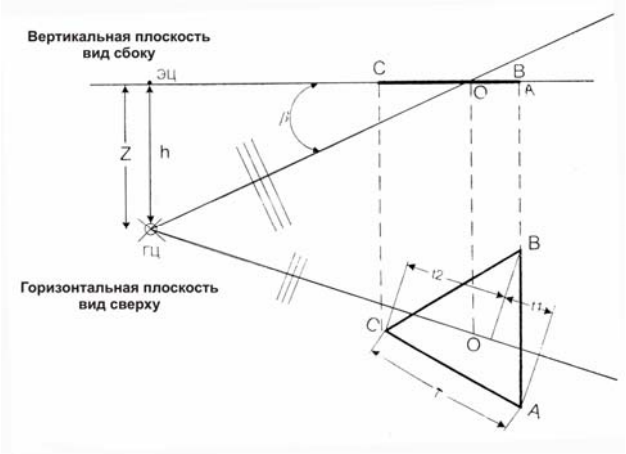


Рис. 4. Определение координат гипоцентра

2. Определить скорость поперечной волны V_s (можно из соотношения $V_p \approx 1{,}7V_s$).

3. Измерить временные задержки при регистрации взрыва t_1 и t_2

$$t_1 = T\sin\varphi_1;\ \ t_2 = T\sin(60-\varphi_2) \qquad (5)$$

4. Определить пеленг

$$\varphi_1 = \arcsin\frac{t_1}{T};\ \ \varphi_2 = 60^0 - \arcsin\frac{t_2}{T} \qquad (6)$$

5. Определить уточненный пеленг

$$\varphi = (\varphi_1 + \varphi_2)/2\,.$$

6. Определить временные задержки для земной поверхности (для плоскости размещения треугольника)

$$t_1^{/} = T\sin\varphi; \qquad t_2^{/} = T\sin(60^0 - \varphi)\,. \qquad (7)$$

7. Определить угол места β гипоцентра

$$\frac{t_1}{t_1^{/}} = \cos\beta, \qquad \beta = \arccos\frac{t_1}{t_1^{/}}$$
$$\frac{t_2}{t_2^{/}} = \cos\beta, \qquad \beta = \arccos\frac{t_2}{t_2^{/}} \qquad (8)$$

8. Определим дальность до гипоцентра $d_{гц}$

$$d_{гц} = T_c\frac{V_p \cdot V_s}{V_p - V_s}\,, \qquad (9)$$

где Тс – время в секундах отставания поперечной волны S от продольной волны P. 9. Определить дальность до эпицентра $d_{эц}$

$$d_{эц} = d_{гц}\cdot\cos\beta\,. \qquad (10)$$

10. Определить глубину гипоцентра Z

$$Z = h = d_{гц}\cdot\sin\beta\,. \qquad (11)$$

Разработанная система может использоваться в быту физическими лицами для регистрации, например, форшоков и землетрясений. В случае регистрации форшоков с близкими по значению координатами многократно за установленный период времени, то можно предположить, что в этом квадрате возможно динамическое явление – афтершок.

Интерфейс, описанный в данной статье, может быть использован совместно с персональной ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ракишев Б.Р., Винокуров Л.В.* Пеленгация источников возмущения в массиве горных пород. – Алматы, НИЦ «Ғылым», 2002. - 236 с.

2. *Винокуров Л.В.* Автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук «Геоинформационные системы определения сейсмоакустических источников в массиве горных пород». – Алматы, 2002.

Коротко об авторах

Винокуров Л.В. – доктор технических наук, доцент, ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ).