

Н. А. Абдуллаев, Р. Н. Абдулов

НИИМОП, Азербайджан, AZ1123, Баку, ул. Рагиба Мамедова, 25  
e-mail: [asadzade@rambler.ru](mailto:asadzade@rambler.ru)

## Метод окружностей для локализации мест технологических взрывов на основе регистрации сферических акустических волн

Получена 27.09.2009, опубликована 12.11.2009

В статье предложен новый метод, позволяющий путем геометрических построений вычислить местоположение источника звуковых волн. Предложенный метод также позволяет более точно определить мощность источника или свойства среды на пути распространения акустических волн.

Ключевые слова: акустические волны, локация, триангуляция, взрывы

### ВВЕДЕНИЕ

Точная локализация мест генерации и излучения акустических волн, являясь актуальной технической проблемой, возникает при обнаружении мест технологических взрывов, пусков ракет, ударов молний, источников опасных инфразвуков и т.д.

Эти и другие подобные задачи до сих пор в основном решались триангуляционным акустическим методом [1], основные недостатки которого следующие:

1. Важными операциями являются определение скорости звука и точная регистрация времени поступления акустических волн. Однако, как известно [2] температура и влажность значительно воздействует как на скорость звука, так и на затухание акустических волн, что, в конечном счете, приводит к погрешности вычисления.

2. Точность оценки мощности источника, зависит от точности триангуляционной процедуры локации.

Для устранения указанных недостатков предлагается принципиально новый подход к решению задачи локации, заключающийся в использовании результатов измерения степени ослабления акустических волн. При этом взамен триангуляционных вычислений и соответствующих геометрических построений используется итерационная процедура построения окружностей, центры которых совпадают с точками расположения приемных микрофонов, а радиусы этих окружностей пропорциональны степени ослабления принятой акустической волны.

Показано, что предлагаемый метод также позволяет определить мощность излучаемой акустической волны у источника.

## 1. МЕТОД ОКРУЖНОСТЕЙ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Все вышеуказанные недостатки триангуляционного метода могут быть устранены, если отказаться от тригонометрического способа вычислений и использовать физические и геометрические основы процесса распространения акустической волны для решения данной задачи, что сделано в предлагаемом методе окружностей. Прежде всего, рассмотрим физические основы предлагаемого метода. Как известно, например [2], для плоской акустической волны амплитуда звукового давления  $P$  на расстоянии  $x$  может быть вычислена по следующей формуле:

$$P = P_0 e^{-mx/2}, \quad (1)$$

где  $P_0$  — амплитуда давления звуковых волн в точке  $x=0$ ;  $m$  — общий коэффициент ослабления. Графики зависимости  $m$  от относительной влажности при температуре 20°C для разных частот приведены на рис. 1 [2].

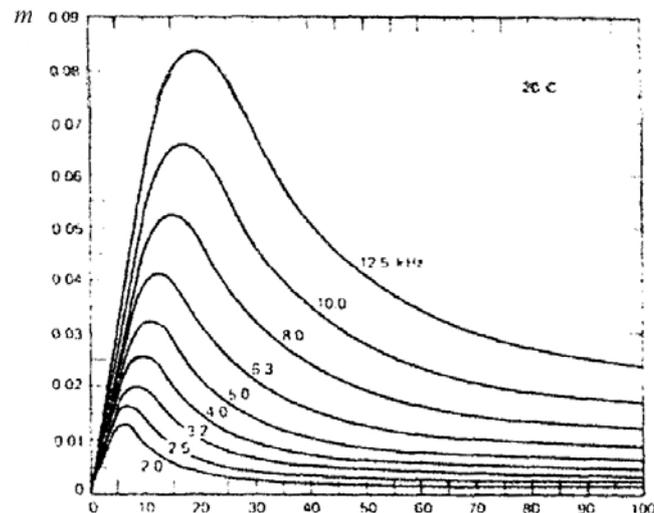


Рис. 1. Графики зависимости  $m$  от относительной влажности и частоты [2]

Следует отметить, что общий коэффициент ослабления зависит как от относительной влажности, так и от температуры. При этом следует учесть, что такие параметры как температура и относительная влажность являются термодинамически связанными параметрами и не могут быть рассмотрены в качестве линейно независимых параметров. По этой причине метод локализации источников звуковых волн предполагает наличие сведений о значениях температуры при фиксированных величинах относительной влажности. На рис. 2. представлены графики  $m = f(F, t^\circ)$  для  $RH = 50\%$ , вычисленные на основе сведений, представленных в [3].

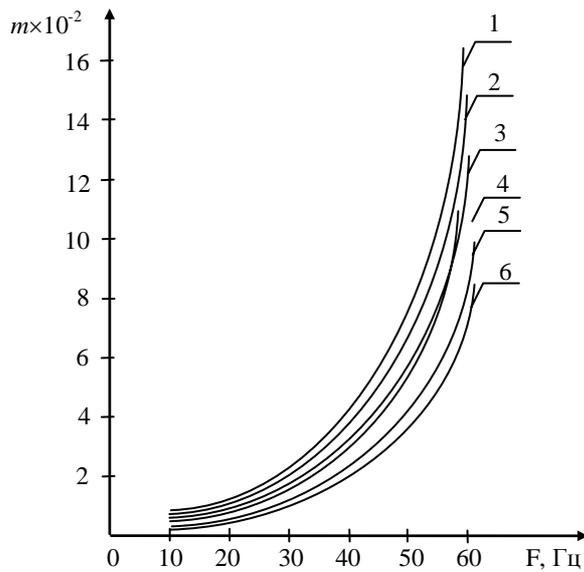


Рис. 2.

Графики зависимости  $m = f(F, t^\circ)$

при  $RH = 50\%$ .

Цифрами обозначены:

1 —  $t^\circ = 5^\circ$ ;

2 —  $t^\circ = 10^\circ$ ;

3 —  $t^\circ = 15^\circ$ ;

4 —  $t^\circ = 20^\circ$ ;

5 —  $t^\circ = 25^\circ$ ;

6 —  $t^\circ = 30^\circ$

Известно, что в сферической волне, вследствие расширения фронта, амплитуда давления обратно пропорциональна расстоянию от источника  $x$ . Поэтому с учетом (1) получим

$$P(x) = \frac{P_0}{x} \cdot e^{-\frac{mx}{2}}. \tag{2}$$

Предлагаемый метод локации на основе построения окружностей базируется на выражении (2). Приведем его к следующему виду

$$x - \frac{2}{m} \ln \frac{1}{x} = a - \frac{2}{m} \ln P(x), \tag{3}$$

где  $a = \frac{2}{m} \ln P_0$ .

Очевидно, что при фиксированных величинах температуры и влажности  $a = const$ . В этом случае с учетом (3) при использовании трех микрофонов получаем следующую систему трансцендентных уравнений:

$$\begin{aligned} x_1 - \frac{2}{m} \ln \frac{1}{x_1} &= a - \frac{2}{m} \ln P(x_1), \\ x_2 - \frac{2}{m} \ln \frac{1}{x_2} &= a - \frac{2}{m} \ln P(x_2), \\ x_3 - \frac{2}{m} \ln \frac{1}{x_3} &= a - \frac{2}{m} \ln P(x_3). \end{aligned} \tag{4}$$

Далее для осуществления геометрических построений рассмотрим два случая.

## 2. ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛОЖЕННОГО МЕТОДА

Допустим, что параметр  $t$  известен,  $a$  неизвестен.

В этом случае процедура локации состоит из следующих шагов:

1. Устанавливаются микрофоны  $M_1, M_2, M_3$  (рис. 3).
2. Осуществляется измерения  $P(x_1), P(x_2), P(x_3)$ .
3. Так как  $a$  неизвестен, задаются приближительной величиной  $a$ .
4. Решается система трансцендентных уравнений (4) относительно  $x_1, x_2, x_3$  в результате чего получаем соответствующие расчетные значения  $x_{1p}, x_{2p}, x_{3p}$ .

5. Осуществляют геометрические построения в следующем порядке. Место нахождения микрофона  $M_i$  выбирается в качестве центра  $i$ -й окружности, радиус которой равен  $x_{ip}$  (рис. 3). Допустим что, при первичном построении окружностей получим треугольную форму  $S_1, S_2, S_3$ . Далее, чтобы сузить эту фигуру до фактически точечного участка, уменьшаем принятое значение  $a$  на определенную величину и осуществляем повторное вычисление величин  $x_{ip}$ , которые на рис. 3 обозначены как  $x'_{1p}; x'_{2p}; x'_{3p}$ . Повторное геометрическое построение дает нам более мелкую треугольную фигуру, содержащий искомый источник акустических волн.

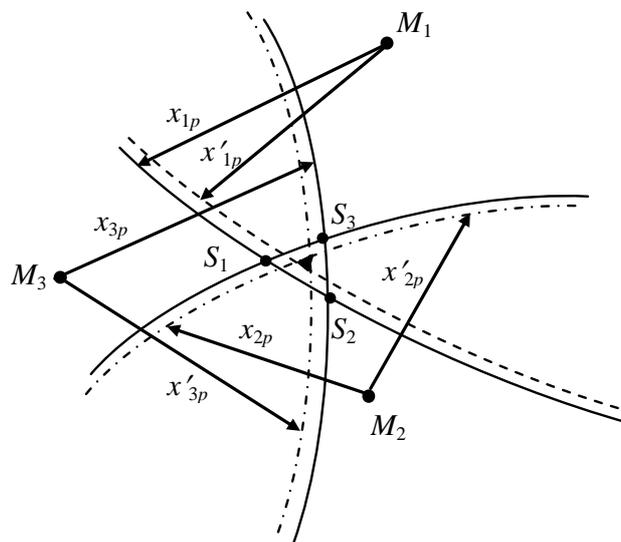


Рис. 3. Процедура локации по предложенному методу

Указанные построения более мелких треугольных форм продолжается изменением величины  $a$  (а, следовательно, и  $P_0$ ) до тех пор эти формы не превратятся в точку.

Таким образом, предложенный метод позволяет определить не только местонахождение источника акустических сигналов, но и мощность излучения этого источника, т.е. распознать, в некоторых случаях тип источника излучения.

### 3. ВТОРОЙ ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛОЖЕННОГО МЕТОДА

Допустим, что параметр  $m$  неизвестен,  $P_0$  известен.

В этом случае процедура локации состоит из следующих шагов:

1. Устанавливаются микрофоны  $M_1, M_2$  и  $M_3$  (рис. 3).
2. Осуществляется измерения  $P(x_1), P(x_2), P(x_3)$ .
3. Так как  $m$  неизвестен, задаются приближительной величиной  $m$ .
4. Решается система трансцендентных уравнений (4) относительно  $x_1, x_2, x_3$  в результате чего получаем соответствующие расчетные значения  $x_{1p}, x_{2p}, x_{3p}$ .

5. Осуществляется геометрическое построение в следующем порядке. Место нахождения микрофона  $M_i$  выбирается в качестве центра  $i$ -й окружности, радиус которой равен  $x_{ip}$  (рис. 3). Чтобы сузить первично полученную треугольную фигуру  $a_1, a_2, a_3$  до размеров фактической точки следует уменьшить  $m$ .

Дальнейшее построение окружностей осуществляется по вышеописанному методу.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что классический триангуляционный метод акустической локации технологических взрывов имеет альтернативный вариант, который обладает существенными преимуществами. Указанные преимущества заключаются в том, что кроме геометрической локации места расположения источника излучения акустических волн, также удастся более точно определить мощность источника при известной величине общего коэффициента ослабления, или определить этот коэффициент при известной величине мощности источника. Указанные преимущества достаточно весомые, так как позволяют более точно идентифицировать источник звука при известных свойствах среды, в которой распространяется волна, или оценить свойства среды при известном источнике.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Sound ranging. [http://en.wikipedia.org/wiki/Sound\\_ranging](http://en.wikipedia.org/wiki/Sound_ranging).
2. Bohn D. A. Environmental effects on the Speed of Sound // Journal of Audio Engineering Society, vol. 36, №4, 1988.
3. Atmospheric Sound Absorption Calculator. <http://www.csgnetwork.com/atmossndabsorbcale.html>.