

Н. А. Абдуллаев, Р.Н. Абдулов

НИИМОП, Азербайджан, AZ1123, Баку, ул. Рагиба Мамедова, 25

e-mail: asadzade@rambler.ru

Способ компенсации температурной погрешности акустической локации

Получена 27.09.2009, опубликована 12.11.2009

В статье предложен способ повышения температурной точности акустической локации при использовании метода окружности. Суть предложенного способа заключается в компенсации влияния температуры путем подбора соответствующего участка частотного спектра акустического сигнала.

Ключевые слова: акустическая локация, взрывы, погрешность, температура, влажность.

ВВЕДЕНИЕ

Классический триангуляционный метод локации [1] обладая наглядностью и логичностью требуемых вычислений имеет погрешности, связанные с:

1. Зависимостью скорости звука от температуры и относительной влажности.
2. Зависимостью степени затухания звуковых волн от температуры, относительной влажности и частоты акустического сигнала.

Такие погрешности, естественно, приводят к уменьшению точности локации технологических взрывов. Далее под термином «технологические взрывы» будем понимать целенаправленные или случайные взрывы различных взрывных устройств, пуски ракет, залпы артустановок, удары молний и т. д.

В настоящей статье представлен способ повышения точности локации технологических взрывов, где вышеуказанные погрешности, вызванные таким фактором как температура, скомпенсированы соответствующим подбором используемого участка частотного спектра сигнала.

Прежде всего, рассмотрим особенности частотного спектра типичных технологических взрывов. Как указано в [2], импульсные акустические источники, такие как запуски ракет, взрывы, артиллерийские залпы и т. д. имеют относительно широкий спектр распределения акустической энергии с нижней границей до единиц герц. Верхняя граница спектра частот этих сигналов достигает 100 Гц. Однако основная часть энергии акустического сигнала сосредоточена в инфразвуковой области, например, при запуске ракеты типа «Скад» — в пределах 1...25 Гц [2]. Благодаря своему низкочастотному спектру волны от технологических взрывов распространяются на большие расстояния без существенного затухания.

1. АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

1.1. Анализ совместного влияния температуры и влажности

Рассмотрим в общих чертах совместное влияние факторов, которые влияют на точность акустической локации. Основными внешними факторами, влияющими на распространение акустических волн, являются температура и влажность воздуха, которые влияют как на скорость распространения звука, так и степень затухания акустических волн [3]. При этом следует учесть, что степень затухания акустических сигналов также зависит от частоты сигнала. Таким образом, в общем случае суммарная погрешность локации, $\sum \Delta$, возникающая из-за указанных факторов, может быть выражена как

$$\sum \Delta = a_1 m(F, t^\circ, RH) + a_2 V(t^\circ, RH),$$

где m — показатель степени затухания акустического сигналов; V — скорость акустической волны; t° — температура; F — частота акустического сигнала; RH — относительная влажность воздуха; a_1, a_2 — коэффициенты пропорциональности.

Так как задачей исследования в настоящей статье является поиск путей компенсации влияния температуры и относительной влажности путем соответствующего подбора используемого участка спектра, то имеет смысл вкратце рассмотреть соотношение между такими факторами, как t° и RH . Согласно [3] влияние температуры на поглощение акустических волн и на скорость звука значительно превышает влияние относительной влажности. Так например, при измерениях RH в пределах 10...100% скорость звука изменяется только на 1,2%. Однако, совместное влияние изменений температуры и влажности в пределах соответственно 5...40°C и 0...100 % приводит к изменению скорости звука на 8,27%. Указанные данные позволяют нам несколько упростить задачу исследования в настоящей статье и рассматривать только лишь вопрос о компенсации влияния температуры.

1.2. Анализ влияния температуры на точность локации

Для решения поставленной задачи рассмотрим возможность использования известных аналитических выражений. Как отмечено в [3] для четкого понимания процессов затухания звуковых волн в воздухе следует рассмотреть некоторые вопросы молекулярной кинетики, процессы вибрационной релаксации, уравнения Навье-Стокса. Однако существует более упрощенный технический подход к решению задачи [3]. Согласно этому подходу, используется общий коэффициент затухания, зависящий от таких факторов, как температура, влажность и частота акустического сигнала.

Известно, что для сферической акустической волны амплитуда звукового давления обратно пропорциональна расстоянию от источника x :

$$P(x) = \frac{P_0}{x}, \quad (1)$$

где P_0 — амплитуда звукового давления у источника.

Также известно, что в «дальней зоне» сферические волны вырождаются в плоские. Плоские распространяющиеся акустические волны затухают в соответствии с выражением

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

С учетом (1) и (2) имеем

$$P(x) = \frac{P_0}{x} e^{-\frac{mx}{2}}. \quad (3)$$

В общем случае имеют место следующие функциональные зависимости:

$$m = f(F, t^\circ), \quad (4)$$

$$x = vt = \varphi(t^\circ) \cdot t, \quad (5)$$

где v — скорость звука; $v = \varphi(t^\circ)$; t — заданное время.

Таким образом, параметры m и x зависят от температуры, что также обуславливает зависимость $P(x)$ от t° .

2. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

2.1 Суть предлагаемого способа

Смысл предлагаемого способа заключается в обеспечении неизменности функции $P(x)$ при любой допустимой температуре. Обеспечение этого условия позволяет однозначно определить x по измеренной величине $P(x)$. Условие компенсации температурной погрешности имеет вид:

$$\frac{P_0}{x} e^{-\frac{mx}{2}} = \text{const}_1. \quad (6)$$

Условие (6) перепишем следующим образом:

$$\ln x = c - \frac{mx}{2}, \quad (7)$$

где $c = \text{const}_2$.

С учетом (4), (5) и (7) имеем

$$\ln [\varphi(t^\circ) \cdot t] = c - \frac{f(F, t^\circ) \cdot [\varphi(t^\circ) \cdot t]}{2}. \quad (8)$$

Таким образом, (8) является общим уравнением, позволяющим осуществить термостабилизацию процесса локализации искомой точки x . Реализация предложенного способа осуществляется в следующем порядке. При заданных величинах t° , $\varphi(t^\circ)$, c , t вычисляются $\varphi(t^\circ) \cdot t$ и $\ln [\varphi(t^\circ) \cdot t]$. Компенсация температурного фактора осуществляется надлежащим выбором величины F на основе графического решения уравнения (8) относительно F .

2.2 Графическая интерпретация предложенного способа

Дадим графическую интерпретацию предложенного способа. Процедура компенсации графически отображена на рис. 1 и заключается в следующем. Допустим, что в исходном состоянии имеем $t^\circ = t_1^\circ$ и кривая 1 отображает функцию $y = \ln[\varphi(t^\circ) \cdot t]$ при $t^\circ = t_1^\circ$.

В рассматриваемом случае целью термокомпенсации является выполнение условия (8) в одной и той же термостабильной точке x . В исходном случае условие (8) выполняется в точке x_1 (пересечение линий 1 и 2). Далее допустим, что температура изменилась до $t_1^\circ + \Delta t^\circ$. В результате функция $y = \ln[\varphi(t^\circ) \cdot t]$ будут иметь вид кривой 3, которая отлична от кривой 1. При этом условие температурной компенсации (7) удовлетворяется в точке x_2 (пересечение линий 3 и 2), что с точки зрения обеспечения точности недопустимо, так как фактически это означает смещение термостабильной точки.

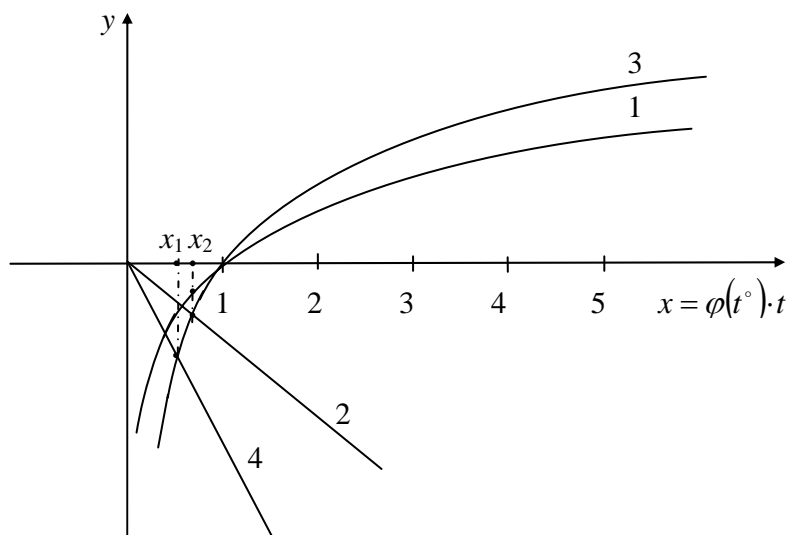


Рис. 1. Графическая процедура осуществления температурной компенсации.

Цифрами показаны: 1 — кривая $y = \ln[\varphi(t^\circ) \cdot t]$ при $t^\circ = t_1^\circ$; 2 — график функции $y = c - \frac{f(F, t^\circ) \cdot [\varphi(t^\circ) \cdot t]}{2}$ при $c = 0$; 3 — кривая функции $y = \ln[\varphi(t^\circ) \cdot t]$; $t^\circ = t_1^\circ + \Delta t^\circ$; 4 — график функции $y = c - \frac{f(F_1, t^\circ) \cdot [\varphi(t^\circ) \cdot t]}{2}$ при $c = 0$

Для устранения неточности выбирается такая частота F , на которой условие (7) также выполнялось бы в точке x_1 . Для этого выбор новой величины F должен быть осуществлен таким образом, чтобы график функции $y = c - \frac{f(F_1, t^\circ) \cdot [\varphi(t^\circ) \cdot t]}{2}$, т.е. линия 4 пересекалась бы с кривой 3 также в точке x_1 . Таким образом, обеспечивается неизменность величины x независимо от температурного фактора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вышеизложенная процедура термостабилизации координаты локализованной точки позволяет нам предложить следующий итерационный метод компенсации температурной погрешности локации технологических взрывов.

1. С использованием одного из известных путей локации (например, метод триангуляции), определяются приблизительные расстояния от источника звука до микрофонов x_1, x_2, x_3 (рис. 2).

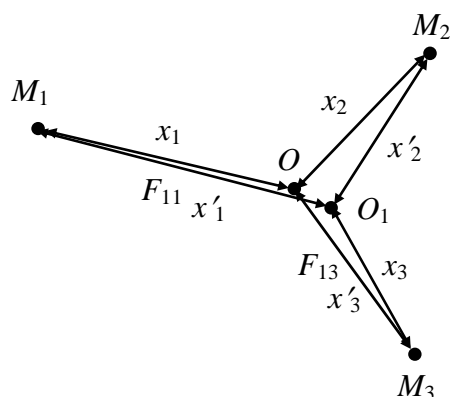


Рис. 2.

Схематическое представление предложенной процедуры локации.

На рисунке обозначены:

M_1, M_2, M_3 — микрофоны;

O — положение источника звука, определенное на первом итерационном шаге;

x_1, x_2, x_3 — расстояние между O и микрофонами;

O_1 — положение источника звука, определенное на втором итерационном шаге;

x'_1, x'_2, x'_3 — расстояние между O_1 и микрофонами

2. Для каждого из найденных расстояний x_1, x_2 и x_3 осуществляется вышеописанная процедура вычисления компенсирующих значений частот акустического сигнала канала.

3. Осуществляется настройка частотных полос каналов измерений системы акустической локации в соответствии с вычисленными величинами.

4. Определяется повторная локация источника звука O_1 и соответствующие расстояния до микрофонов x'_1, x'_2, x'_3 (см. рис. 2).

5. С учетом найденных величин x'_1, x'_2, x'_3 повторно применяется вышеизложенная процедура коррекции, и вычисляются корректирующие частоты для каждого канала.

6. Повторно осуществляется локация источника и т. д. Процедура локации считается завершенной, если результат процесса поиска источника звука сходится к одной точке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sound ranging, http://en.wikipedia.org/wiki/Sound_ranging
2. Ch. Stubbs. Tactical Infrasound, <http://www.fas.org/irp/agency/dod/jason/infrasound.pdf>
3. Bohn D. A. Environmental effects on the Speed of Sound // Journal of Audio Engineering Society, v. 36, №4, 1988.