

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ДВИЖУЩИХСЯ СРЕДАХ

Полтавский К.Н

Научный руководитель – к.т.н., проф. Сидоров Г.И.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Ленина 14, каф. Радиоэлектронных систем,
тел. (057)702-15-87)

The given is work to the modern developments in the field of microwave devices used for measuring the propagation velocity of ultrasonic waves in moving media.

The method used continuous-wave amplitude - modulated ultrasonic waves and the phase method of measuring the speed of sound spread. The dependence of measurement errors on the parameters of the measuring apparatus.

В целом ряде случаев необходимо обеспечивать оперативный контроль за ходом технологических процессов экологически опасных производств, когда прямые измерения невозможны или требуют применения большого количества датчиков разных параметров. В некоторых случаях температура и физико – химический состав воздуха в вентиляционных каналах может характеризовать норму или отклонение от нормы хода технологических процессов, индикатором чего может служить величина измеряемой скорости распространения ультразвуковых колебаний и её отклонение от нормальной для данного типа производства.

В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал по измерениям скорости звука в газах [1,2,3]. Из сказанного следует, что измеряя скорость в вентиляционных каналах, можно определять степень отклонения исследуемых параметров смесей от сухого атмосферного воздуха и от других смесей, характерных для данного типа производства в нормальном режиме эксплуатации.

Известен импульсный способ измерения и вычисления скорости распространения звука на участке длиной L по формуле:

$$V_S = \frac{L}{\Delta t}, \text{ где } \Delta t - \text{ время запаздывания.}$$

Для высокоточного измерения истинной скорости распространения ультразвука в этих условиях целесообразно использовать режим непрерывного излучения амплитудно-модулированных ультразвуковых колебаний с выполнением измерения сдвига фазы колебаний отраженных от конца измеряемой среды. В этом случае обеспечивается компенсация скорости движения среды при измерении скорости распространения в прямом и обратном направлениях [4].

Скорость распространения ультразвуковых колебаний в этом случаи вычисляется по формуле

$$V_S = \frac{2\pi f_m L}{\Delta\varphi},$$

где f_m - частота модуляции высокочастотных колебаний;

L – длина измеряемого участка;

$\Delta\varphi$ - разность фаз излученных и отраженных колебаний;

Если выполняются не прямые измерения величины y как функции многих переменных x_i $y = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m)$, суммарная среднеквадратичная ошибка измерений может быть вычислена

по формуле [5], $G_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} G_{x_i} \right)^2}$.

$$\text{В нашем случае } G_V = \sqrt{\left(\frac{2\pi L}{\Delta\varphi} \right)^2 \cdot G_{f_m}^2 + \left(\frac{2\pi f_m}{\Delta\varphi} \right)^2 \cdot G_L^2 + \left(\frac{2\pi f_m L}{\Delta\varphi^2} \right)^2 \cdot G_{\Delta\varphi}^2}.$$

Первое и второе слагаемые под корнем существенно меньше третьего, поэтому $G_V \approx \frac{2\pi f_m}{\Delta\varphi^2} \cdot G_{\Delta\varphi}$.

Из этого выражения можно получить, что для измерения скорости звука с погрешностью $G_V = 0,01 \text{ м/с}$ допустима потенциальная среднеквадратичная погрешность измерения фазы $G_{\Delta\varphi} = 5 \cdot 10^{-5} [\text{рад}]$.

Такая погрешность требует соотношения сигнал/шум $q_0 = \left(\frac{1}{G_{\Delta\varphi}} \right)^2 = 4 \cdot 10^8$,

которое, как показывает анализ, обеспечивается при собственной мощности шума $P_{ш} = 1,5 \cdot 10^{-19} \text{ Вт}$ в полосе 10 Гц и мощности излучения $P_{изл} = 6 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}$.

Список источников

1. Бергман Л. Ультразвук и его применения в науке и технике.-М.: Издательство иностранной литературы, 1957.- 728с.
2. Ноздрёв В.Ф., Федорищенко Н.В. Молекулярная акустика.-М.: Высш. школа, 1974.- 288с.
3. Колесников А.Е. Ультразвуковые измерения.-М: Издательство стандартов, 1970.- 240с.
4. Патент на винахід. UA92949. Спосіб поширення швидкості поширення ультразвукових коливань у середовища, що рухаються. Бюл.№24, 2010.
5. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин.- Л.: Наука, 1974.- 108с.