

## ВЛИЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА

Флягин А.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Тонконогов Б.А. – канд.техн.наук, доцент

**Аннотация.** В работе рассматриваются факторы, имеющих наибольшее влияние на точность измерения ультразвуковых датчиков. Сформировано уравнение для расчета мгновенной скорости звука с учетом этих влияющих факторов. Также рассмотрены этапы калибровки ультразвукового датчика.

**Ключевые слова:** ультразвуковой датчик, калибровка

**Введение.** Датчики похожи на органы чувств технической системы. Из разнообразия датчиков наиболее часто используемым датчиком для обнаружения препятствий и измерения расстояния до них является ультразвуковой датчик. Ультразвуковой датчик также используется для помощи людям с физическими недостатками. Вышеупомянутые системы требуют работы ультразвукового датчика с точностью до миллиметра. Но главное препятствие для высокой точности в миллиметровом диапазоне – это его рабочая среда. Ультразвуковой датчик использует звуковые волны, на которые влияет ряд параметров среды. Таким образом, наш интерес состоит в том, чтобы выяснить основные влияющие параметры окружающей среды и сформулировать упрощенное уравнение для расчета мгновенной скорости звука, взяв эти основные влияющие параметры. Это интересная проблема, потому что ранее упрощенное уравнение учитывает только температуру среды в качестве входных данных, но нельзя пренебрегать влиянием влажности.

**Основная часть.** Обычно доступным недорогим ультразвуковым датчиком является Hc-Sr04. Ультразвуковой датчик посылает звуковые импульсы к объекту и принимает эхосигналы, отраженные от него, как показано на рисунке 1 [1].

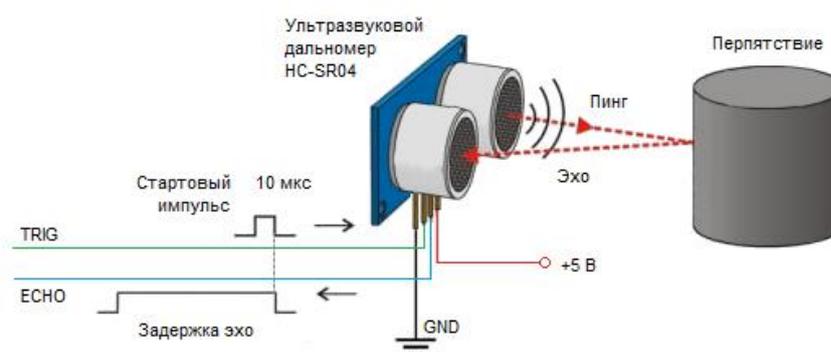


Рисунок 1 – Принцип работы ультразвукового датчика

В течение периода времени от передачи звуковых волн до приема эха ультразвуковой датчик подает сигнал высокого уровня в блок сбора данных. Разделив результат вывода таймера на удвоенную скорость звука, мы найдем расстояние до объекта. Для работы сантиметрового диапазона ультразвукового датчика, если блок принимает фиксированную скорость звука, то ошибка вывода принимается до некоторой степени. Но в случае работы в миллиметровом диапазоне ошибка из-за фиксированной скорости звука будет недопустимой. Та-

ким образом, для работы в миллиметровом диапазоне блоку нужна мгновенная скорость звука вместо фиксированной скорости. Для расчета скорости звука также необходимо упрощенное уравнение, так как сложное уравнение не может быть обработано микроконтроллером, присутствующим в нем. Прежде чем перейти к упрощенному уравнению, наша первая цель – узнать, какие параметры среды имеют наибольшее влияние на скорость звука.

Продольные звуковые волны – это изоэнтропический процесс, в котором энтропия остается постоянной на протяжении всего процесса [2]. Из уравнения Ньютона – Лапласа (1) скорость звука в идеальном газе равна:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma \times R \times 273,15}{M}} \times \sqrt{1 + \frac{\theta}{273,15}}, \quad (1)$$

где  $C$  – скорость звука,  $\gamma$  – отношение удельной теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме,  $R$  - молярная газовая постоянная (приблизительно  $8,3145 \cdot 10$  Дж / (моль · К),  $M$  - молярная масса газа идеальный газ,  $\theta$  - температура в °С. Здесь мы рассматриваем идеальный газ как сухой воздух.

Молекулярная масса сухого воздуха составляет 28,969 г/моль. Но в практических условиях воздушная среда ни сухая, ни концентрация углекислого газа, ни давление не привязаны к разным географическим районам. Итак, четыре параметра среды, которые могут влиять на скорость звука, – это температура, относительная влажность, изменение давления и изменение концентрации  $CO_2$  [3]. Для данной высоты изменение давления очень незначительно. Таким образом, влиянием изменения атмосферного давления пренебрегают. Из-за изменения концентрации углекислого газа ( $CO_2$ ) изменяется и скорость звука. Теперь осталось исследовать два основных параметра: относительная влажность и температура. Из таблицы 1 мы можем визуализировать влияние относительной влажности и температуры на скорость сухого воздуха.

Таблица 1 – Влияние относительной влажности и температуры на скорость сухого воздуха [3].

$\theta, ^\circ C$	$RH = 0\%$	$RH = 30\%$	$RH = 100\%$	$RH = 30\%$	$RH = 100\%$
20	342	343	344	343	344
30	349	349	351	350	351
40	354	355	358	356	359
50	360	362	367	363	368

Из-за увеличения относительной влажности некоторые молекулы азота и кислорода воздуха заменяются более легкими молекулами водяного пара, в результате молекулярная масса воздуха уменьшается. Присутствие молекулы воды влияет на коэффициент теплоемкости  $\gamma$ , который будет изменен по формуле (2):

$$\gamma_w = \frac{7 + h}{5 + h}, \quad (2)$$

где  $h$  - доля молекул воды в воздушной среде, и ее можно рассчитать по относительной влажности ( $RH$ ), атмосферному давлению ( $P$ ) и давлению водяного пара ( $e(\theta)$ ).

$$C_E = \sqrt{\frac{\left(\frac{7+n}{5+n}\right) \times R \times 273,15}{28,969(1 - [0.378 \times h])}} + \sqrt{1 + \frac{\theta}{273,15}}, \quad (3)$$

где  $C_E$  – это точная скорость звука, зависящая от относительной влажности и температуры. Теперь наша цель – сформулировать упрощенное уравнение для мгновенной скорости звука,

исходя из точной скорости (3). Применяя разложение в степенной ряд с приближением первого порядка, мы получим (4):

$$c_E = (331,24 + (0,6 \times \theta)) \times (1 + (0,16 \times b)). \quad (4)$$

Обычно диапазон рабочих температур по умолчанию ( $\theta$ ) для ультразвукового датчика составляет 0-50 ° С. Таким образом, для диапазона температур по умолчанию получим равенство (5):

$$c_S = (331,24 + (0,6 \times \theta)) \times \left( 1 + \left[ RH \times 9,6 \times 10^{-6} \times 10^{0,032x(\theta - (0,004x^{\theta^2}))} \right] \right). \quad (5)$$

Приведенное выше упрощенное уравнение для расчета мгновенной скорости звука зависит от двух основных влияющих параметров. Это температура и относительная влажность. Мы рассчитали скорость звука, используя уравнение  $C_E$  и  $C_S$ , которое показано в таблице 1.

Для повышения точности работы ультразвукового датчика необходимо рассчитать мгновенную скорость звука ( $C_S$ ), для которой требуются датчики температуры и относительной влажности. Пусть  $X$  будет временем движения звука вперед и назад, поэтому расстояние до объекта ( $Y$ ) будет равно:

$$Y = \frac{\lambda}{D}, \quad (6)$$

где  $D$  – коэффициентом деления. Хотя есть небольшая ошибка между точной скоростью звука и скоростью звука, рассчитанной с использованием упрощенного моделирования, но при вычислении коэффициента деления ошибка уменьшается на 40-60%.

**Заключение.** Чтобы повысить точность измерений ультразвукового датчика, нам нужна мгновенная скорость звука, для которой требуются два основных параметра: температура и относительная влажность среды. Мы составили упрощенное уравнение для получения мгновенной скорости звука, которая дает максимальную процентную ошибку 0,33 для диапазона рабочих температур по умолчанию 0–50 ° С. При расчете коэффициента деления погрешность уменьшается на 40-60%.

### Список литературы

1. Волков, Л.Н. Системы цифровой радиосвязи. Базовые методы и характеристики: учеб. пособие / Л.Н. Волков, М.С. Немировский, Ю.С. Шинаков. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
2. Лайонс, Р. Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс. – 1-ое изд., пер. с англ. – М: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с
3. Глозман, И.А. Пьезокерамические материалы в электронной технике / И.А. Глозман. – М.: Изд. «Энергия», 1964г. – 192 с.

UDC 62.1

## EFFECTS OF ENVIRONMENT ON ACCURACY OF ULTRASONIC SENSOR

*Fliahin A.U.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Tonkonogov B.A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

**Annotation.** The paper considers the factors that have the greatest influence on the measurement accuracy of ultrasonic sensors. An equation has been formed to calculate the instantaneous speed of sound, taking into account these influencing factors. The stages of ultrasonic sensor calibration are also discussed.

**Keywords.** ultrasonic signal, microcontroller, filter.