

## ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО ПРЕПЯТСТВИЙ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Франчук Д.С., магистрант; Лыков А.Г., ст. преп.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Для автономного перемещения объекта необходимо наличие продвинутой системы ориентации, которая позволяет ему планировать свои действия по перемещению в пространстве, просчитывать оптимальный маршрут движения, собирать и использовать информацию об окружающей местности препятствиях, что в конечном итоге, позволит ему выполнять полезную функциональную нагрузку. Для реализации данных действий необходимо снабдить объект электронным устройством измерения расстояния до препятствий, рассчитанном на диапазон измерения от 0.02 м до 4 м.

На данный момент на отечественном рынке специального оборудования можно приобрести различные виды датчиков измерения расстояния. Наиболее оптимальным вариантом для использования в разрабатываемом электронном устройстве является ультразвуковой датчик HC-SR04, имеющий небольшие габариты и простой интерфейс.

Расчет расстояния ( $S$ ) до препятствия в ультразвуковом датчике HC-SR04 производится по формуле [1]:

$$S = \frac{F}{k} \text{ [см]}, \quad (1)$$

где  $F$  – изменяющаяся продолжительность импульса;

$k$  – заведомо запрограммированная константа, которая вычислена исходя из номинальной скорости звука ( $v_{\text{ном}} = 331,6$  м/с) при температуре  $T \approx 0$  °C:  $k = 58$ .

Из графика зависимости скорости распространения звуковой волны в воздухе от температуры (см. рис. 1), можно сделать вывод, что скорость звука изменяется при отклонениях температуры окружающей среды от номинальной.

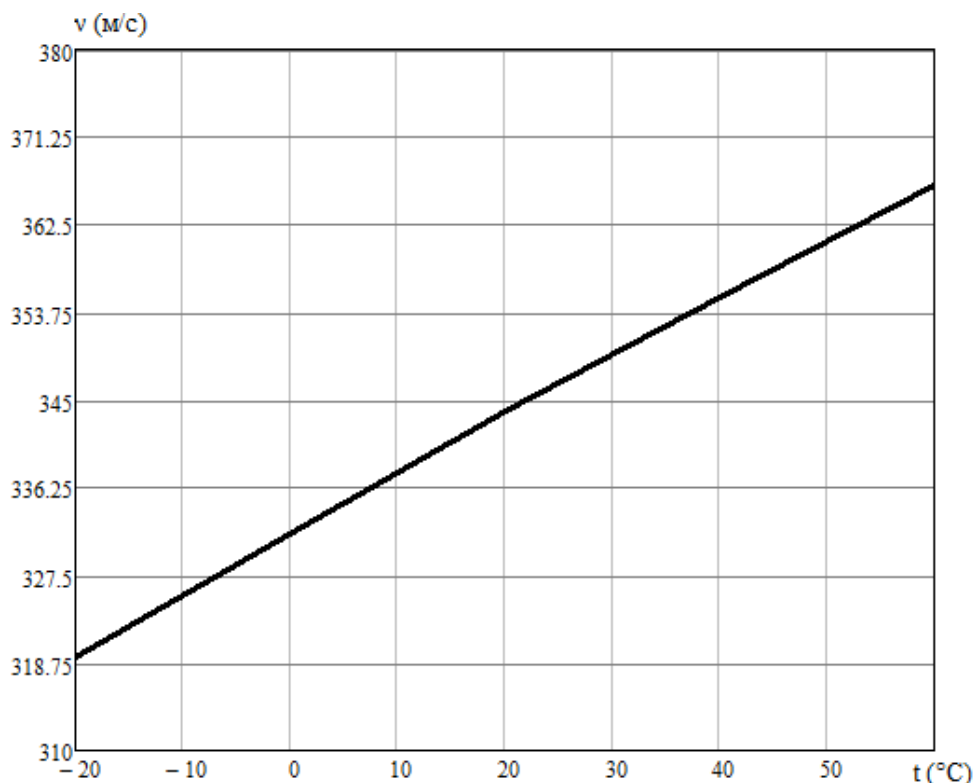


Рисунок 1 – Зависимость скорости распространения звука в воздухе от температуры

Соответственно при изменении температурных условий определение расстояния по выражению 1 будет производиться с определенной погрешностью. Для того, чтобы оценить вносимую в результат измерения погрешность, в выражение 1 введем добавочный коэффициент по температуре окружающей среды (далее температурный коэффициент):

$$k_t = \frac{v_{ном}}{v_{реал}(t)}, \quad (2)$$

где  $v_{ном}$  – номинальная скорость распространения звука в воздухе;

$v_{реал}(t)$  – реальная скорость распространения звука при текущей температуре окружающей среды  $t$ .

Поскольку изменение скорости звука от температуры это линейная прямо пропорциональная зависимость, то для вычисления реальной скорости звука воспользуемся формулой зависимости скорости распространения звука в воздухе от температуры вида:

$$v_{реал}(t) = v_{ном} \cdot \frac{1 + \frac{(t + 273)}{273}}{2}. \quad (3)$$

Подставив выражение (3) в формулу для температурного коэффициента (2) получим:

$$k_t = \frac{v_{ном}}{v_{ном} \cdot \left(1 + \frac{(t + 273)}{273}\right)/2} = \frac{2}{1 + \frac{(t + 273)}{273}}.$$

Тогда выражение (1) с учетом температуры окружающей среды принимает вид:

$$S = \frac{F \cdot \left(\frac{2}{1 + \frac{(t + 273)}{273}}\right)}{58}. \quad (4)$$

Задавшись минимальным (2 см) и максимальным (4 м) расстоянием, которое можно измерить с помощью ультразвукового датчика, вычислим минимальную и максимальную продолжительность импульса  $F$  при номинальной скорости звука, когда температурный коэффициент равен единице:

$$F_{min} = S_{min} \cdot 58 = 2 \cdot 58 = 116 \text{ (мкс)};$$

$$F_{max} = S_{max} \cdot 58 = 400 \cdot 58 = 23.2 \text{ (мс)}.$$

Однако при изменении температуры температурный коэффициент перестает быть равным единице и вносит погрешность в результат измерения. Определим результат измерения расстояния в температурном диапазоне окружающей среды от  $-30^\circ\text{C}$  до  $+50^\circ\text{C}$ :

– при минимальном расстоянии:

$$S_{min}(t_{min}) = \frac{F_{min} \cdot \left(\frac{2}{1 + \frac{(t_{min} + 273)}{273}}\right)}{58} = \frac{116 \cdot \left(\frac{2}{1 + \frac{(-30 + 273)}{273}}\right)}{58} = 2.12 \text{ (см)};$$

$$S_{min}(t_{max}) = \frac{F_{min} \cdot \left(\frac{2}{1 + \frac{(t_{max} + 273)}{273}}\right)}{58} = \frac{116 \cdot \left(\frac{2}{1 + \frac{(50 + 273)}{273}}\right)}{58} = 1.83 \text{ (см)};$$

– при максимальном расстоянии:

$$S_{max}(t_{min}) = \frac{F_{max} \cdot \left( \frac{2}{1 + \frac{(t_{min} + 273)}{273}} \right)}{58} = \frac{23200 \cdot \left( \frac{2}{1 + \frac{(-30 + 273)}{273}} \right)}{58} = 423.3(\text{см});$$

$$S_{max}(t_{max}) = \frac{F_{max} \cdot \left( \frac{2}{1 + \frac{(t_{max} + 273)}{273}} \right)}{58} = \frac{23200 \cdot \left( \frac{2}{1 + \frac{(50 + 273)}{273}} \right)}{58} = 366.4(\text{см}).$$

Построим график зависимости измеренного расстояния до объекта от длины импульса и температуры окружающей среды (см. рис. 2).

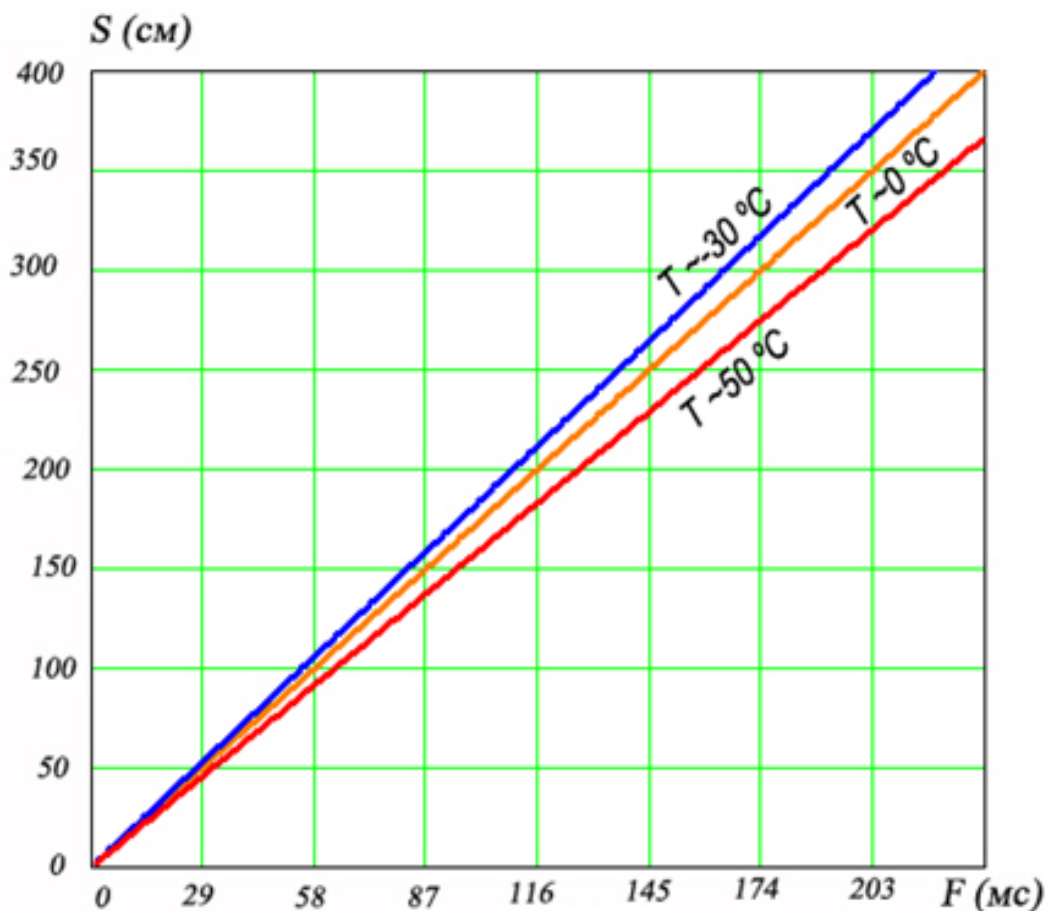


Рисунок 2 – Зависимость измеренного расстояния до объекта от длины импульса и температуры окружающей среды

По полученным значениям рассчитаем вносимую в результат измерения расстояния абсолютную и относительную погрешности (табл. 1).

Таблица 1 – Расчет погрешности измерения расстояния по температуре

Условия определения	$\Delta S = S_{ном} - S_{реал}, \text{ см}$	$\delta = \Delta S / S_{реал}, \%$
$t_{min}, S_{min}$	0.12	5.7
$t_{max}, S_{min}$	0.17	9.3
$t_{min}, S_{max}$	23.3	5.5
$t_{max}, S_{max}$	33.6	9.2

Исходя из результатов таблицы 1 можно сделать вывод, что наибольшая погрешность определения расстояния наблюдается при максимальной температуре. В проведенных

расчетах максимальный порог температуры устанавливается на уровне +50°C, однако при работе датчика на открытой местности, температура может подниматься и выше.

Для корректировки результата измерения расстояния по температуре окружающей среды введем коэффициент обратный температурному:

$$k_{кор\_t} = \frac{v_{реал}(t)}{v_{ном}} = \frac{v_{ном} \cdot (1 + \frac{(t + 273)}{273})/2}{v_{ном}} = 0,5 + \frac{(t + 273)}{546}. \quad (5)$$

Таким образом, формула для измерения расстояния до объекта с учетом коррекции по температуре принимает вид:

$$S_{кор\_t} = \frac{F \cdot (0,5 + \frac{(t + 273)}{546})}{58}. \quad (6)$$

На основании представленных выше положений разработана структурная электронного устройства измерения расстояния до препятствий подвижных объектов (рис. 3).

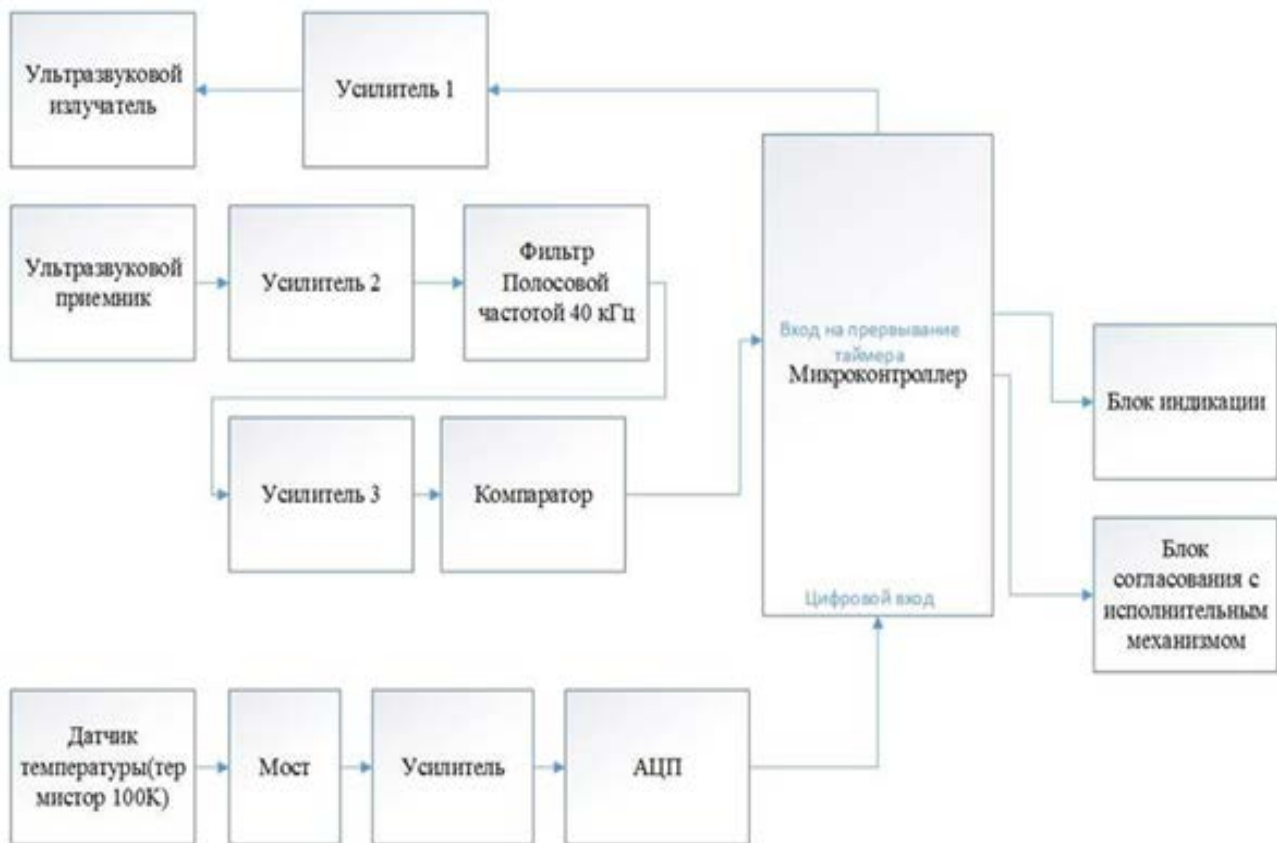


Рисунок 3 – Структурная схема электронного устройства измерения расстояния до препятствий подвижных объектов

Вся работа устройства начинается с микроконтроллера, который обладает определенным количеством портов ввода-вывода данных, где хотя бы один из них является входом для внешнего прерывания. Помимо прямого назначения в схеме электронного устройства измерения расстояния, он может так же использоваться как контроллер всей робототехнической платформы при необходимости. В таком случае выбирается микроконтроллер, удовлетворяющий заданным характеристикам для остальных устройств платформы. В разрабатываемом электронном устройстве его основное назначение – это запуск, отсчет времени и окончание измерения. Для запуска микроконтроллер выдает команду для начала излучения пакета ультразвуковых импульсов с частотой 40 кГц и

одновременно с этим включает таймер, ожидая прихода на один из своих портов логической единицы от приемной части устройства. С выхода микроконтроллера сигнал поступает на усилитель, который поднимает уровень сигнала на ультразвуковой излучатель для более мощного звукового излучения. После этого ультразвуковые волны поступают в воздушное пространство, где начинают распространяться как свойственно всем звуковым волнам в упругой среде. За счет хороших свойств распространения ультразвука в воздухе, сигнал на малых расстояниях, в нашем случае до 4-х метров, можно считать мало затухающим. А именно, при прохождении ультразвуковой волны с частотой 40 кГц расстояния в несколько метров, ослабление амплитуды звукового приемника от максимального значения составляет порядка (15-20) мВ, что дает возможность измерить данный сигнал без больших коэффициентов усиления в измерительном канале схемы. После отражения от препятствия ультразвуковая волна начинает распространяться в противоположную сторону, то есть в сторону ультразвукового приемника. Приемник ожидает ультразвуковой сигнал, входящий в его полосу пропускания. Поскольку сигнал с выхода приемника довольно мал по уровню для дальнейшей обработки, он усиливается первым усилителем. После первого этапа усиления в работу вступает узкополосный фильтр, настроенный на несущую частоту 40 кГц с узкой полосой пропускания, составляющей несколько сотен Герц. Фильтр выделяет полезную составляющую и подавляет остальные частоты спектра принятого сигнала. После проделанных операций на выходе фильтра мы имеем сигнал с частотой 40кГц и амплитудой порядка нескольких десятых Вольт. Далее в работу вступает второй усилитель, который поднимает амплитуду принятого сигнала до уровня срабатывания компаратора – порядка нескольких Вольт. Компаратор является заключительным элементом перед возвращением сигнала в микроконтроллер, на вход внешнего прерывания. Он сравнивает принятый полезный сигнал с опорным и при выполнении условия превосходства полезного сигнала, выдает логическую единицу на микроконтроллер, который в свою очередь обрабатывает данное прерывание и останавливает таймер-счетчик. Таким образом, микроконтроллер определяет время распространения ультразвуковой волны от излучателя до препятствия и обратно к приемнику (величина  $F$  в выражении 6).

Для учета зависимости скорости распространения звука в воздухе от температуры окружающей среды в структурную схему устройства введен измерительный канал температуры, который состоит из датчика температуры, измерительного моста, усилителя, который приводит уровень принятого сигнал ко входному формату аналого-цифрового преобразователя. Абсолютная погрешность измерения температуры в данном случае будет составлять до 1 °С.

На основании измеренных значения продолжительности импульса  $F$  и температуры окружающей среды  $t$  микроконтроллер, в соответствии с выражением 6, рассчитывает истинное расстояние до препятствий на пути следования подвижного объекта.

Полученные значения расстояния может выводиться на индикацию и использоваться в качестве управляющего сигнала для блока согласования с исполнительным механизмом, который приводит в действие или изменяет состояние силовых агрегатов платформы подвижного объекта.

#### Перечень ссылок

1. Академия роботехники : Ультразвуковые датчики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mirrobo.ru/micro/ultrazvukovye-datchiki> – Дата доступа: март 2017. – Загл. с экрана.