

УДК 621.317.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОЦЕНКУ ТОЧНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАЛЬНОМЕРА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТО- ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А.В. РУДЫК*

Проведена оценка скорости ультразвука в воздухе в зависимости от состояния окружающей среды. Исследована степень влияния группы климатических факторов на выходной сигнал ультразвукового излучателя при оценке скорости ультразвука на открытом пространстве и в помещении. Выполнены экспериментальные исследования макетного образца ультразвукового дальномера.

Ключевые слова: скорость ультразвука, ультразвуковой дальномер, влияние климатических факторов, пьезодатчик, статистическая значимость.

Введение. Система ультразвукового зрения предназначена для ориентации мобильного робототехнического комплекса (МРТК) в пространстве при движении в природной среде или помещении, которая реализуется при использовании нескольких независимых каналов измерения. Технически система реализуется на основе многоканального ультразвукового дальномера, включенного в бортовую управляющую сеть МРТК (мобильного робота).

Технические характеристики системы в основном определяются характеристиками используемых ультразвуковых пьезопреобразователей MuRata: пьезоизлучателя MA40B8S и пьезоприёмника MA40B8R, технические характеристики которых приведены в [1]. Если на пьезоизлучатель подавать сигнал меньшей амплитуды, чем максимально допустимая для MA40B8S (40 В), то измеренное расстояние будет уменьшаться. Как показали предварительные расчёты, потенциальная разрешающая способность, с которой проводится измерение дальности, составляет 0.17 мм.

Структурная схема сетевого ультразвукового одноканального дальномера приведена на рис. 1.

Систему ультразвукового зрения можно разделить на две части:

- сенсорный узел, который выполняет цикл измерения дальности и передаёт эту информацию по каналу связи при запросе приёмного узла;

* Национальный авиационный университет, Украина, г. Киев

- приёмный узел, который при соответствующем запросе получает информацию от сенсорного узла и проводит обработку полученной измерительной информации.

Узлы соединяются между собой при помощи последовательной шины CAN (Controller Area Network). В предложенной структуре роль приёмного узла выполняет контроллер-“мастер”.

Сенсорный узел является разновидностью классического импульсного локатора. Микроконтроллер (МК) PIC18F8722 [2] с интервалом 0.1 с формирует импульс запуска, который одновременно запускает формирователь пакета импульсов и 16-битный счётчик интервалов времени (один из встроенных в МК таймер-счётчиков). Формирователь пакета импульсов генерирует пакет импульсов длительностью 0.1 мс с частотой 40 кГц.



Рис. 1. Структурная схема ультразвукового одноканального дальномера

Излучённый ультразвуковой сигнал отражается от объекта и возвращается назад на пьезоприёмник. Фронт первого принятого импульса останавливает счётчик интервалов времени и формирует сигнал окончания цикла измерения, при поступлении которого МК считывает код, зафиксированный в счётчике. Делитель частоты формирует сигналы с разными частотами, необходимые для работы функциональных блоков дальномера. В разработанном устройстве для подсчёта интервалов времени на счётчик подаются импульсы с периодом 1 мкс (частотой 1 МГц).

В связи с тем, что сенсорный узел является классическим импульсным локатором, то при измерении дальности ультразвуковым дальномером необходимо учитывать температуру окружающей среды. Если не учитывать температурную зависимость скорости ультразвука в воздухе, то при отклонении температуры окружающей среды на 1°C возникает абсолютная погрешность приблизительно 0.6 м/с, которая приводит к относительной погрешности измерения дальности порядка 0.175%.

Целью данной работы является повышение точности оценки скорости ультразвука в воздухе при реализации ультразвукового дальномера системы технического зрения МРТК, а также исследование степени влияния группы климатических факторов на выходной сигнал ультразвукового излучателя при оценке скорости ультразвука на открытом пространстве и в помещении.

1. Оценка скорости ультразвука в воздухе.

В соответствии с законами классической аэродинамики скорость ультразвука в воздухе определяется из соотношения $V_3 = 20.046 \cdot \sqrt{T}$, где T – абсолютная температура (К), или

по эмпирической формуле $V_3 = 331.4 + 0.6t^o$ [3]. Однако последнее соотношение применяется для широкого температурного диапазона (-100...+200) °С, что приводит к увеличению погрешности вычисления скорости ультразвука на границах температурного диапазона до 2.9% при температуре -100 °С и 3.5% при температуре +200 °С.

Для рассматриваемых в работе ультразвуковых пьезопреобразователей фирмы MuRata диапазон рабочих температур составляет (-30...+80) °С [1]. Поэтому в работе [4] температурную зависимость скорости ультразвука в воздухе в данном диапазоне предложено аппроксимировать линейной регрессивной зависимостью вида $\hat{V}_3 = 330.95 + 0.584t^o$ со

средней относительной погрешностью аппроксимации $\bar{\varepsilon}_{V_3} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n=9} \left| \frac{V_3 - \hat{V}_3}{V_3} \right| \cdot 100\% = 0.138\%$,

максимальной относительной погрешностью аппроксимации $\varepsilon_{V_3, \max} = 0.266\%$, коэффициентом

парной корреляции $r_{V_3t} = b \frac{\sigma_t}{\sigma_{V_3}} = 0.584 \cdot \frac{34.157}{19.961} = 0.99933$ и коэффициентом детерминации

$r_{V_3t}^2 = 0.99866$, что говорит о достаточно высокой точности полученной линейной регрессивной зависимости.

Повысить точность аппроксимации можно, сузив температурный диапазон до (-10...+30) °С, что соответствует умеренному климатическому поясу, при этом $\hat{V}_3 = 331.26 + 0.592t^o$ со средней и максимальной относительными погрешностями аппроксимации соответственно 432 ppm и 738 ppm при коэффициенте парной корреляции 0.999769, что ещё более повышает точность аппроксимации.

Для учёта влияния влажности воздуха W и атмосферного давления P (кПа) вводят понятие акустической виртуальной температуры [5]:

$$t_{AB}^o = t^o + \frac{0.275(t^o + 273)W}{P}.$$

Неучтённое влияние влажности воздуха при нормальном атмосферном давлении приводит к возникновению абсолютной погрешности определения скорости ультразвука, которая не превышает 0.5 м/с.

Если учесть, что при измерении параметров движения объектов номинальные значения наиболее важных нормированных величин, которые влияют на результат измерения, являются такими [6]: температура – 20 °С (293 К); давление окружающего воздуха – 99.992 кПа (750 мм. рт. ст.); относительная влажность воздуха – 65% (нормальное парциальное давление водяного пара 1351 Па), то акустическая виртуальная температура будет иметь значение

$$t_{AB, HV}^o = 20 + \frac{0.275 \cdot (20 + 273) \cdot 0.65}{99.992} = 20.5238^o,$$

т.е. неучтённое влияние относительной влажности воздуха и атмосферного давления даже при номинальных значениях нормированных величин, влияющих на результат измерения, приводит к отклонению температуры на 2.62% от номинального значения, что в свою очередь приводит к относительной погрешности 0.1% определения скорости ультразвука в воздухе.

На открытых участках трассы на скорость ультразвука влияет ветер: скорость ультразвука в направлении движения ветра увеличивается, а против ветра – уменьшается. Наличие ветра приводит к дрейфу ультразвуковой волны, что создаёт эффект смещения источника ультразвука. Скорость ультразвука при этом определяется как $V_{3,B} = V_3 + V_B \cos \alpha$, где V_B – скорость ветра; α – угол между направлением ветра в точке наблюдения и направлением прихода ультразвука.

С учётом влияния влажности воздуха, атмосферного давления и ветра оценки определения скорости ультразвука в воздухе в различных температурных диапазонах запишутся такими соотношениями:

$$\begin{aligned} \hat{V}_3(t^\circ, W, P, V_B, \alpha) \Big|_{(-10 \div +30)^\circ C} &= 331.26 + 0.592t^\circ + \frac{0.1628(t^\circ + 273)W}{P} + V_B \cos \alpha; \\ \hat{V}_3(t^\circ, W, P, V_B, \alpha) \Big|_{(-30 \div +80)^\circ C} &= 330.95 + 0.584t^\circ + \frac{0.1606(t^\circ + 273)W}{P} + V_B \cos \alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

Поверхности, описывающие зависимости скорости ультразвука в воздухе от температуры и атмосферного давления при номинальной относительной влажности воздуха 65%, представлены на рис. 2.

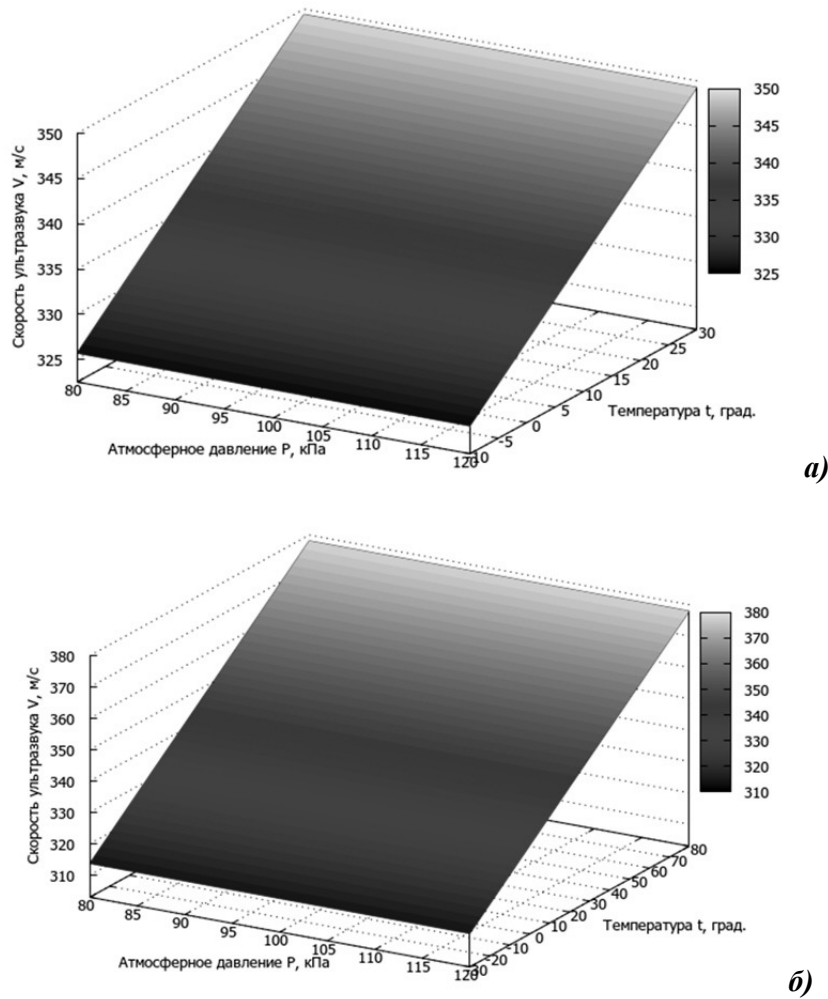


Рис. 2. Зависимости скорости ультразвука в воздухе от температуры в диапазонах $(-10 \dots +30)^\circ C$ (а) и $(-30 \dots +80)^\circ C$ (б), изменении атмосферного давления от 80 кПа до 120 кПа и при относительной влажности воздуха 65%

Таким образом, приходим к выводам, что при реализации ультразвукового дальномера наиболее важным фактором, влияющим на точность определения скорости ультразвука, является точное измерение температуры в зоне проведения измерений, т.е. дальность до объекта определяется из соотношения

$$L = \frac{\hat{V}_3 N T_{СИ}}{2} = \left(165.63 + 0.296 t^{\circ} + \frac{0.0814 (t^{\circ} + 273) W}{P} + V_B \cos \alpha \right) \cdot N \cdot T_{СИ} \cong \cong (165.63 + 0.296 t^{\circ}) \cdot N \cdot T_{СИ}, \quad (2)$$

где N – количество счётных импульсов, подсчитанное таймером-счётчиком МК; $T_{СИ}$ – период счётных импульсов.

Во второй, приближённой, части соотношения (2) не учтено влияние относительной влажности воздуха и атмосферного давления, т.к. при достаточно больших отклонениях данных климатических факторов от их номинальных значений (65% и 100 кПа) на 35% до 100% (относительная влажность воздуха) и 10 кПа до 90 кПа (атмосферное давление) при температуре 20 °С скорость ультразвука изменится на 0.523 м/с, что приведёт к появлению относительной погрешности определения дальности 0.15%.

Поверхность, описывающая зависимость определяемой дальности от температуры окружающей среды и количества импульсов, подсчитанных счётчиком при $T_{СИ} = 1 \text{ мкс}$, представлена на рис. 3.

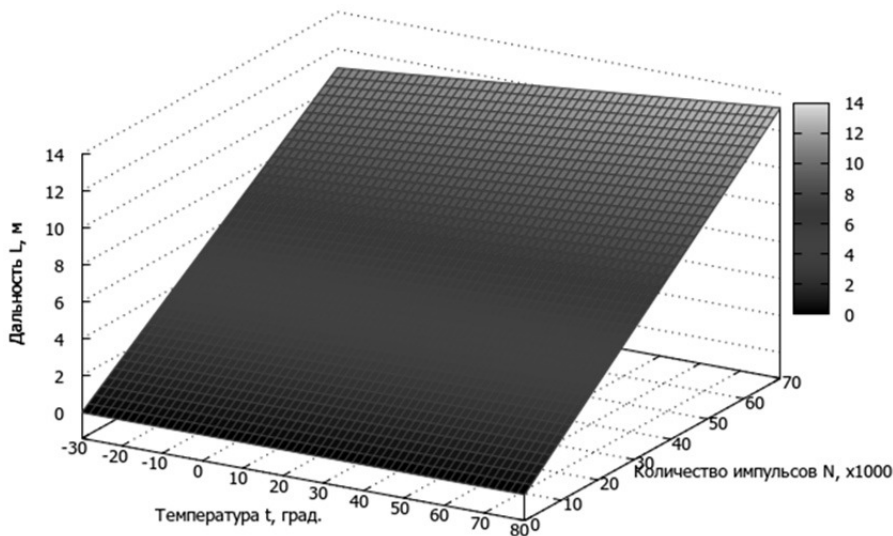


Рис. 3. Зависимость определяемой дальности от температуры окружающей среды и количества импульсов, подсчитанных счётчиком микроконтроллера

Разрешающая способность системы ультразвукового зрения, которой проводится определение дальности, при температуре 20 °С составляет величину

$$\Delta L = 0.5 \cdot (343.1 \cdot 1 \cdot 10^{-6}) = 0.1716 (\text{мм}).$$

Максимальная определяемая дальность в основном ограничивается мощностью пьезоизлучателя и составляет величину 6 м. Если 16-разрядный счётчик подсчитывает максимальное количество 2^{16} импульсов, он останавливается и формирует сигнал окончания подсчёта, поэтому максимальное время измерения дальности составляет

$t_{max} = 2^{16} \cdot 10^{-6} = 0.0655(c)$ (для дальности 6 м максимальное время измерения $t_{6,м} \cong 0.035(c)$), а максимальная определяемая дальность $L_{max} = 2^{16} \cdot \Delta L = 11.25(м)$.

2. Исследование степени влияния группы климатических факторов на выходной сигнал ультразвукового излучателя при оценке скорости ультразвука в воздухе.

Так как определение скорости ультразвука для решения навигационных задач мобильной робототехники проводится в различных климатических условиях, были проведены исследования степени влияния группы климатических факторов на выходной сигнал S_U ультразвукового излучателя для двух случаев – при оценке скорости ультразвука на открытом пространстве и в помещении. Исследуемыми климатическими факторами были выбраны температура воздуха t^o , атмосферное давление P и относительная влажность воздуха W . Такой выбор обусловлен тем, что данные величины можно измерить при помощи микроэлектронных компонентов и использовать для повышения точности навигационной системы мобильного робота. По результатам $n = 256$ измерений, выполненных на протяжении трёх месяцев, был проведён корреляционный анализ и рассчитаны частные коэффициенты корреляции, которые показывают степень влияния на выходной сигнал ультразвукового излучателя S_U каждого климатического фактора отдельно. Оценка значимости проводилась по соотношению расчётного значения критерия Стьюдента, вычисленного по формуле $t_i = \frac{r_i \sqrt{n-1}}{1-r_i^2}$, а также табличного значения критерия Стьюдента для $n \geq 200$ и уровня значимости $\alpha = 0.01$.

Результаты исследований, приведенные в таблице 1, показывают тесную связь между исследуемыми климатическими факторами и выходным сигналом пьезоизлучателя. Температура воздуха t^o максимально влияет на выходной сигнал S_U как в первом, так и во втором случаях, однако при исследованиях на открытом пространстве влияние более значимое. Атмосферное давление P оказывает на выходной сигнал слабое обратное влияние на открытом пространстве, а в помещении его влияние является статистически незначимым. Влияние относительной влажности воздуха W как на открытом пространстве, так и в помещении является статистически незначимым.

На основании проведённых экспериментальных исследований степени влияния группы климатических факторов на выходной сигнал S_U ультразвукового излучателя на открытом пространстве при определении скорости ультразвука можно считать постоянной относительную влажность воздуха, а в помещении – ещё и атмосферное давление. Тогда соотношения (1) для оценки скорости ультразвука в разных температурных диапазонах запишутся так:

- оценка скорости ультразвука на открытом пространстве:

$$\begin{aligned} \hat{V}_3(t^o, P, V_B, \alpha) \Big|_{(-10 \div 30)^o C} &= 331.26 + 0.592 t^o \cdot \left(1 + \frac{0.1788}{P} \right) + \frac{28.889}{P} + V_B \cos \alpha; \\ \hat{V}_3(t^o, P, V_B, \alpha) \Big|_{(-30 \div 80)^o C} &= 330.95 + 0.584 t^o \cdot \left(1 + \frac{0.1788}{P} \right) + \frac{28.498}{P} + V_B \cos \alpha; \end{aligned} \quad (3)$$

- оценка скорости ультразвука в помещении:

$$\hat{V}_3(t^\circ) \Big|_{(-10 \div 30)^\circ C} = 331.549 + 0.5931t^\circ; \quad \hat{V}_3(t^\circ) \Big|_{(-30 \div 80)^\circ C} = 331.235 + 0.5851t^\circ. \quad (4)$$

Таблица 1

Частные коэффициенты корреляции и оценка их значимости

Частный коэффициент корреляции	Значение частного коэффициента корреляции	Расчётное значение критерия Стьюдента	Табличное значение критерия Стьюдента	Оценка статистической значимости
<i>Оценка скорости ультразвука на открытом пространстве</i>				
$r_{S,t^\circ}(WP)$	0.8945	71.4666	2.345	Статистически значимый
$r_{S,P}(t^\circ W)$	-0.1614	2.6463	2.345	Статистически значимый
$r_{S,W}(t^\circ P)$	0.1283	2.0831	2.345	Статистически незначимый
<i>Оценка скорости ультразвука в помещении</i>				
$r_{S,t^\circ}(WP)$	0.8569	51.4958	2.345	Статистически значимый
$r_{S,P}(t^\circ W)$	-0.1311	2.1301	2.345	Статистически незначимый
$r_{S,W}(t^\circ P)$	-0.0983	1.5851	2.345	Статистически незначимый

Таким образом, необходимо учитывать, что на выходной сигнал пьезоизлучателя очень сильно влияет изменение температуры воздуха, а также менее значимо атмосферное давление и относительная влажность воздуха, поэтому в состав такой навигационной системы должны входить соответствующие сенсоры для измерения климатических параметров с их дальнейшим использованием для повышения точности навигационно-временных определений.

3. Экспериментальный образец ультразвукового дальномера.

Для проверки работоспособности предложенного алгоритма работы сенсорного узла (рис. 1) было проведено его предварительное макетирование. В качестве интерфейса для связи с контроллером-“мастером” используется контроллер шины CAN MCP2510. В качестве излучателя и приёмника ультразвуковых колебаний используются пьезопреобразователи MuRata MA40B8S и MA40B8R соответственно, а блоки делителя частоты и формирователя пакета импульсов реализованы на ПЛИС MAX EPM7128STC100.

Для учёта влияния климатических факторов при определении скорости ультразвука по соотношениям (1), (3), (4) и, соответственно, дальности до препятствия, в разработанном ультразвуковом дальномере используется интегрированный датчик окружающей среды типа BME280, разработанный специально для мобильных устройств, где размер (2.5×2.5×0.93 мм) и низкое энергопотребление (до 3.6 мкА при напряжении питания (1.7÷3.6) В) являются ключевыми [7]. Устройство имеет сравнительно малое время отклика 1 с и совмещает три высоколинейных точных датчика:

- низкошумовой датчик температуры для диапазона (-40...+85) °С, использующийся не только для измерения температуры с разрешающей способностью ±0.1 °С и максимальной абсолютной погрешностью ±0.5 °С, но и для температурной компенсации датчиков давления и влажности;

- абсолютный барометрический датчик давления, работающий в диапазоне (30...1100) кПа с максимальной относительной погрешностью ±1% и ошибкой чувствительности до ±0.25%;

- датчик влажности, поддерживающий требования к рабочим характеристикам для новых приложений, с гистерезисом до 2% относительной влажности и максимальной абсолютной погрешностью ±1%.

Используя соотношение (1), определим максимальные абсолютные погрешности вычисления скорости ультразвука в воздухе на краях температурного диапазона по показаниям данного интегрированного датчика:

$$\begin{aligned} \Delta V_3(t^o, W, P) \Big|_{-30^o C} &= 0.584 \Delta t^o + 0.1606 \cdot \left(\frac{(t_1^o + 273)W_1}{P_1} - \frac{(t_0^o + 273)W_0}{P_0} \right) = \\ &= 0.584 \cdot 0.5 + 0.1606 \cdot \left(\frac{(-29.5 + 273) \cdot 0.66}{99} - \frac{(-30 + 273) \cdot 0.65}{100} \right) = 0.299 \text{ м/с}; \\ \Delta V_3(t^o, W, P) \Big|_{80^o C} &= 0.584 \cdot 0.5 + 0.1606 \cdot \left(\frac{(80.5 + 273) \cdot 0.66}{99} - \frac{(80 + 273) \cdot 0.65}{100} \right) = 0.307 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

Рассчитанные абсолютные погрешности вычисления скорости ультразвука в воздухе, вызванные погрешностями интегрированного датчика, приводят к относительной погрешности не более 0.1%, что в свою очередь согласно соотношению (2) приводит к абсолютной погрешности оценки расстояния не более 6 мм (для максимальной мощности пьезоизлучателя).

При макетировании системы использовался только один ультразвуковой канал. В качестве контроллера-«мастера» используется макетная плата поддержки для контроллера «ASK Lab», на которой дополнительно установлен интерфейсный контроллер CAN MCP2510. Данный узел используется для тестирования и отладки сенсорного узла. В состав макетной платы входят контроллер шины CAN MCP2510, микроконтроллер PIC18F8722 и символьный жидкокристаллический индикатор (ЖКИ).

В процессе работы контроллер-«мастер» и сенсорная плата обмениваются данными по шине CAN. МК периодически формирует запрос данных, принимает данные от сенсорного узла и выводит принятую информацию на индикатор. Также на индикатор выводится информация о тестовых посылках сенсорного узла.

При поступлении команды запроса данных МК сенсорного узла передаёт числовые данные о текущей измеряемой дальности. Также периодически (10 раз в секунду) МК передаёт контроллеру-«мастеру» тестовую посылку для подтверждения того, что узел функционирует нормально.

Программное обеспечение для МК сенсорной платы и макетной платы «ASK Lab» написано на языке C18 и откомпилировано в среде MPLAB 8. Прошивка для микросхемы ПЛИС создана в среде MAX+ 10.0.

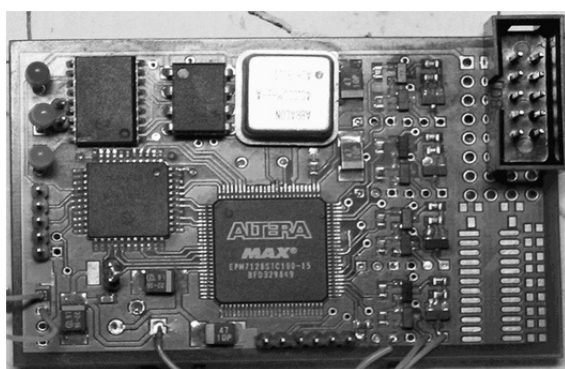
Плата сенсорного узла установлена в пластмассовый корпус, на боковые поверхно-

сти которого выведены разъёмы для подключения питания, пьезопреобразователей и шины CAN. Внешний вид печатной платы данного узла представлен на рис. 4, а, а собранного узла в корпусе – на рис. 4, б.

Пьезопреобразователи установлены в специальные держатели, которые обеспечивают их механическую защиту и облегчают установку на робот. Внешний вид ультразвукового приёмопередатчика представлен на рис. 5.

4. Экспериментальные исследования макетного образца ультразвукового дальномера.

Для проверки работоспособности ультразвукового дальномера были проведены испытания, во время которых проводилось определение дальности до различных объектов и наблюдение результата на индикаторе приёмного узла (рис. 6). В качестве препятствий использовались объекты с различными коэффициентами отражения ультразвука (стекло, кирпич, древесина, картон, ткань).



а)



б)

Рис. 4. Внешний вид печатной платы сенсорного узла (а) и собранный узел в корпусе (б)

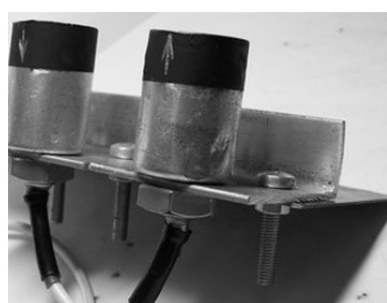


Рис. 5. Внешний вид ультразвукового приёмопередатчика

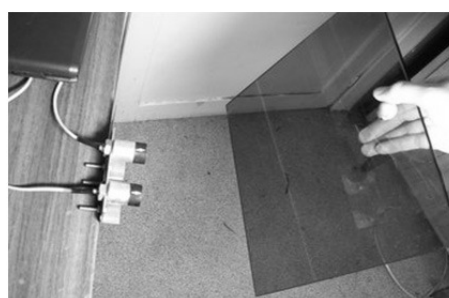


Рис. 6. Макетные испытания ультразвукового дальномера с препятствием из стекла

Результаты макетных испытаний подтвердили работоспособность устройства. При этом получены оценки технических характеристик измерителя для различных отражающих поверхностей, приведённые в таблице 2.

Полученные результаты согласуются с теоретическими результатами для хорошо отражающих поверхностей, а максимальная дальность выявления препятствия зависит от коэффициента отражения поверхности, т.е. от материала, которым покрыто препятствие.

Таблица 2

**Экспериментальные технические характеристики
ультразвукового дальномера**

Параметр	Стекло	Кирпич	Древесина	Картон	Ткань (шерсть)
Минимальная измеряемая дальность, см	8	8	9	10	12
Максимальная устойчивая измеряемая дальность, м	2,73	2,55	2,14	1,42	0,36
Разрешающая способность, не хуже, мм	1,5	1,5	2	2	2,5

Как показали проведённые исследования, шина CAN имеет ряд преимуществ по сравнению с RS-485, такие как более простая аппаратная реализация адресации, арбитраж шины и т.д. Поэтому были сделаны выводы, что шина CAN является более перспективной для реализации бортовой сети мобильного робота.

Заключение. На основании полученных в работе результатов можно сделать ряд выводов, важных для проектирования систем с использованием ультразвуковых дальномеров.

Необходимо учитывать, что на выходной сигнал пьезоизлучателя очень сильно влияет изменение температуры воздуха, а также менее значимо атмосферное давление и относительная влажность воздуха. Поэтому в состав ультразвукового дальномера должны входить соответствующие сенсоры для измерения климатических параметров с их дальнейшим использованием для повышения точности навигационно-временных определений.

Использование ультразвуковых дальномеров без применения дополнительных навигационных устройств (одометры, системы инерциальной навигации, GPS) оправдано только в том случае, если чётко определены условия работы системы (известны отражающие свойства объектов, пределы измерения дальности до них, а также климатические параметры в зоне измерения).

Использование ультразвуковых дальномеров в динамически изменяемых условиях работы без комплексирования с другими типами навигационных систем не гарантирует получения заявленных результатов, что имеет место при использовании робототехнических комплексов и систем в полевых условиях. Однако зависимость параметров системы от условий работы свойственна и некоторым другим типам измерителей дальности (видео, лазерные и т.д. за исключением радаров в ближней и средней зонах излучения), откуда следует, что использование ультразвуковых дальномеров является целесообразным совместно с другими типами измерителей дальности. Это позволяет компенсировать расхождение возможностей сенсоров и обеспечить запас надёжности и достоверности системы в целом.

Практический интерес представляет определение оптимальных комбинаций различных типов сенсоров (ультразвуковых, инерциальных, сверхвысокочастотных, оптических и т.д.) для использования в задачах мобильной робототехники. Особенно перспективным является комплексирование результатов ультразвуковых измерений с данными инерциальных сенсоров или спутниковой радионавигационной системы (GPS или ГЛОНАСС) [8].

REFERENCE

1. **Kashkarov A.P.** Radioelektronnye konstruksii na lyuboy vkus / A. P. Kashkarov. – M. : Eksmo, 2008. – 368 c. – ISBN 978-5-699-23110-2.
Кашкаров А.П. Радиоэлектронные конструкции на любой вкус / А. П. Кашкаров. – М. : Эксмо, 2008. – 368 с. – ISBN 978-5-699-23110-2.
2. PIC18F8722 – Microcontrollers and Processors – Microchip. [Elektronnyy resurs]: – Rezhim dostupa: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F8722>.
PIC18F8722 – Microcontrollers and Processors – Microchip. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F8722>.
3. **Kolesnikov A.E.** Ultrazvukovye izmereniya / A. E. Kolesnikov. – M. : Izdatelstvo standartov, 1970. – 238 c.
Колесников А.Е. Ультразвуковые измерения / А. Е. Колесников. – М. : Издательство стандартов, 1970. – 238 с.
4. **Rudyk A.V.** Otsinka shvidkosti ultrazvuku v povitri pri realizatsii sistemi ultrazvukovogo zoru / A.V. Rudyk // Informatsiyno-obchisluyvalni tekhnologiyi, avtomatika ta elektrotekhnika (ITAЕ-2016). Materiali mizhnarodnoyi NPK. – Rivne: NUVGP, 2016. – с. 273 - 275.
Рудик А.В. Оцінка швидкості ультразвуку в повітрі при реалізації системи ультразвукового зору / А. В. Рудик // Інформаційно-обчислювальні технології, автоматика та електротехніка (ITAЕ-2016). Матеріали міжнародної НПК. – Рівне: НУВГП, 2016. – с. 273 - 275.
5. **Baldev Radzh.** Primeneniya ultrazvuka / Radzh Baldev, V. Radzhendran, P. Palanichami. – M. : Tehnosfera, 2006. – 575 c. – ISBN 5-94836-088-1.
Балдев Радж. Применения ультразвука / Радж Балдев, В. Раджендран, П. Паланичами. – М.: Техносфера, 2006. – 575 с. – ISBN 5-94836-088-1.
6. **Kvasnikov V.P.** Vrakhuвання robochikh umov vimiryuvannya parametriv rukhu obektiv v matematichniy modeli formuvannya rezultatu vimiryuvannya / V. P. Kvasnikov, A. V. Rudyk // Zbirnik naukovikh prats Odeskoyi derzhavnoyi akademiyi tekhnichnogo reguluyuvannya ta yakosti. – 2016. – № 2(9). – с. 41 - 45.
Квасніков В.П. Врахування робочих умов вимірювання параметрів руху об'єктів в математичній моделі формування результату вимірювання / В. П. Квасніков, А. В. Рудик // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2016. – № 2(9). – С. 41 - 45.
7. BME280 – datchik davleniya, temperatury i vlazhnosti. [Elektronnyy resurs]: – Rezhim dostupa: <http://micro-pi.ru/bme280>.
BME280 – датчик давления, температуры и влажности. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://micro-pi.ru/bme280>.
8. **Rudyk A.V.** Otsinka tochnosti navigatsiyno-chasovikh viznachen v suputnikovikh radionavigatsiynikh sistemakh / A. V. Rudyk // Visnik Inzhenernoyi akademiyi Ukrainy. – 2016. – № 3. – с. 39 - 45.
Рудик А.В. Оцінка точності навігаційно-часових визначень в супутникових радіонавігаційних системах / А. В. Рудик // Вісник Інженерної академії України. – 2016. – № 3. – с. 39 - 45.

MOBİL ROBOT-TEKNIKA KOMPLEKSİNİN TEKNIKI GÖRMƏ SİSTEMİNİN ULTRASƏS MƏSAFƏ ÖLÇƏNİNİN DƏQİQLİYİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNƏ İQLİM AMİLLƏRİNİN TƏSİRİNİN TƏDQIQATI

A.V. RUDIK

Ətraf mühit vəziyyətindən asılı olaraq havada ultrasəs sürətinin qiymətləndirilməsi keçirilmişdir. Açıq sahədə və qapalı mühitdə ultrasəs sürətinin qiymətləndirilməsi zamanı ultrasəs saçanının çıxış signalına iqlim amilləri qrupunun təsirinin dərəcəsi tədqiq edilmişdir. Ultrasəs məsafəölçəninin maket nümunəsinin eksperimental tədqiqatları yerinə yetirilmişdir.

Açar sözlər: ultrasəs sürəti, ultrasəs məsafəölçəni, iqlim amillərinin təsiri, pyezo göstərici, statistik əhəmiyyət.

INVESTIGATION OF INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON ACCURACY OF ULTRASONIC RANGEFINDER OF MOBILE ROBOTIC TECHNICAL VISION SYSTEM

A. V. RUDYK

The ultrasonic velocity in the air is estimated as a function of the environmental state. The degree of influence of a group of climatic factors on the output signal of an ultrasonic emitter is investigated in assessing the ultrasonic velocity in an open space and indoors. Experimental studies of the model of an ultrasonic rangefinder are performed.

Key words: ultrasonic velocity, ultrasonic rangefinder, influence of climatic factors, piezoelectric sensor, statistical significance.