

Христюк А. О., к.т.н., Жабчик В. В., студент, Салівоник Н. О., студент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОГО МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ

Наведено основні етапи розробки автоматичного мікропроцесорного ультразвукового пристрою вимірювання відстані. Запропоновано структуру пристрою. Представлено та проаналізовано результати дослідження роботи розробленого пристрою на предмет можливостей його використання.

Ключові слова: відстань, ультразвук, мікропроцесорний пристрій, автоматичне вимірювання, параметри вимірювача.

Вступ. Вимірювання відстані є важливим і поширеним процесом в сьогоденних умовах функціонування різних галузей промисловості, будівництва та в побуті. Отримання адекватних результатів вимірюваних відстаней та зручність застосування пристроїв для визначення відстані мають не останнє значення. Сучасною промисловістю виробляється значна кількість різноманітних технічних засобів вимірювання відстані, проте вони не завжди забезпечують всі вимоги що до них ставляться. Існуючі системи вимірювання відстані не можуть достатньо ефективно виконувати поставлені завдання і використовуватися широким загалом. Тому забезпечення покращення експлуатаційних характеристик систем вимірювання відстані та розробки доступної є важливою проблемою [1].

Засіб вимірювання відстані повинен мати високі метрологічні характеристики, зокрема високу точність позиціонування, та також стати доступним широкому загалу користувачів.

Основний матеріал. Вимірювальна система складається із ультразвукового модуля, мікропроцесорної плати на базі мікроконтролера STM32F103 та дисплея OLED SSD1306 для відображення вимірної інформації.

Ультразвукового модуль призначений для визначення відстані від випромінювача до перешкоди та працює наступним чином. Модуль формує імпульс, що запускає ультразвукову хвилю та вимірює значення ехо-сигналу.



$$l = \frac{tS}{2}, \quad (1.1)$$

де l – відстань до перешкоди;

s – швидкість звуку ;

t – час за який імпульс подолає шлях від випромінювача до перешкоди і назад.

В дослідженні було використано ультразвуковий модуль JSN-SR04T. Модуль має робочу напругу 5 В. Діапазон технічної можливості визначення відстані від 2 до 600 см. На роботу модуля не впливає сонячне випромінювання та електромагнітні шуми.

Для підключення до схеми модуль оснащений 4 виводами. Два з них призначені для підключення живлення: Vcc та Gnd; на вхід Trig подається пусковий імпульс, а з виходу Echo знімається сигнал, тривалість якого пропорційна вимірюваній відстані [2].

Принцип роботи модуля полягає в тому, що при подачі на вхід позитивного імпульсу на передавачі формуються імпульси частотою 40 кГц і приймач очікує відбиту хвилю сигналу. При надходженні відбитого сигналу на приймач відбувається формування на виході модуля імпульсу. Імпульс передається на контролер.

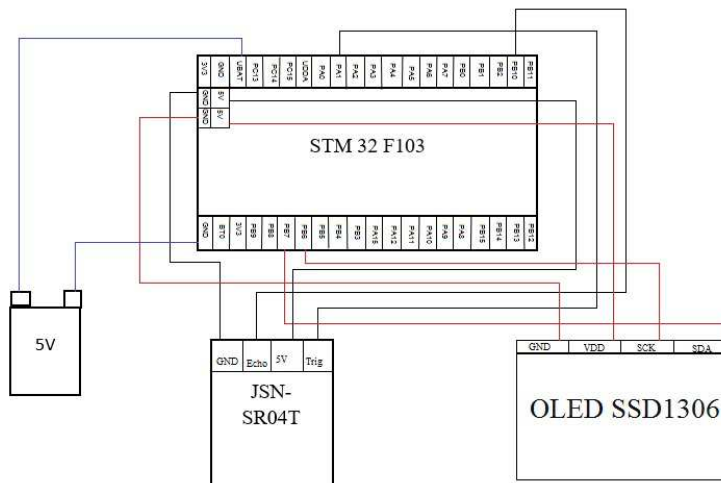


Рис. 1. Структурна схема пристрою вимірювання відстані

З метою дослідження характеристик пристрою вимірювання відстані, розроблено структурну схему дослідної установки, яка містить в собі: мікропроцесорну плату обробки інформації, дисплея для відображення виміряної інформації, елемент живлення, безпосередньо ультразвуковий модуль та персональний комп'ютер (на схемі не

показано) для створення коду та його відлагодження (рис. 1).

Після складання пристрою на основі наведеної структурної схеми та перевірки його, було розроблено блок-схему алгоритму функціонування майбутнього пристрою (рис. 2).



Рис. 2. Блок-схема алгоритму розробленого пристрою

Опис алгоритму:

- Підключення необхідних бібліотек та визначення імен змінних.
- Опис змінних, які використовуються.
- Налаштування швидкості роботи послідовного порту, піків на вхід та вихід.
 - Створення сигналу, що запускає ультразвукову хвилю.
 - Отримання відгуку у формі тривалості проходження ультразвукової хвилі до перешкоди і назад.
 - Отримання часу руху до перешкоди шляхом ділення тривалості проходження ультразвукової хвилі до перешкоди і назад на-



впіл.

- Визначення відстані за формулою.
- Отримання і виведення відстані на екран.
- Організація замкнутого циклу вимірювань.
- Повторення циклу.

Розроблену вимірювальну систему доцільно дослідити з точки зору можливостей її подальшого використання. Зокрема необхідно перевірити точність визначення відстані за допомогою розробленого пристрою у всьому діапазоні роботи модуля (20...600 см), а також можливість використання вимірювача для різних матеріалів та при різному куті взаємного розміщення випромінювача та перешкоди.

Для проведення наступних дослідів модуль, закріплений таким чином, щоб хвиля рухалася горизонтально. На шляху руху хвилі послідовно на різній відстані встановлювалися перешкоди, від якої відбивалася звукова хвиля.

Відстань від випромінювача до перешкоди визначається за допомогою лінійки з міліметровими поділками.

Отримані значення відстані за розробленим пристроєм порівнювалися з показами лінійки. Абсолютна похибка визначається як різниця між вимірним та дійсним значенням відстані, а відносна визначалась за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

де a — значення величини, результат вимірювань; Δa — абсолютна похибка вимірювань.

Результати дослідження точності визначення відстані за допомогою розробленого пристрою та порівняння роботи розробленого пристрою з лазерною лінійкою наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Точність визначення відстані за допомогою розробленого пристрою

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| Дійсне значення, мм | 200 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 4000 | 4500 | 5000 | 6000 |
| Вимірне значення, мм | 199 | 499 | 998 | 1498 | 1998 | 2997 | 3997 | 4497 | 4997 | 5996 |
| Абсолютна похибка, мм | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| Відносна похибка, % | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,134 | 0,1 | 0,1 | 0,075 | 0,067 | 0,06 | 0,067 |
| Лазерна лінійка, мм | 200 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 3020 | 4020 | 4520 | 5020 | 6020 |

Проаналізувавши дані табл. 1 можна вважати, що розроблений пристрій дає досить точну вимірювану відстань на всьому заявленому діапазоні вимірювань, а отже може використовуватися для визначення відстаней в межах від 200 до 6000 мм.

Наступним етапом дослідження розробленого пристрою було здійснено перевірку на точність роботи пристрою при зміні кута положення модуля відносно перешкоди.

Постановка експерименту: модуль був встановлений на відстані 1000 мм від перешкоди, тоді змінною величиною був кут положення розробленого пристрою.

Результати дослідження роботи пристрою при зміні кута наведено в табл. 2

Таблиця 2
Точність роботи пристрою при зміні кута положення модуля відносно перешкоди

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Дійсне значення, мм | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| Вимірне значення, мм | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1001 | 1003 | 1004 | 1005 |
| Абсолютна похибка, мм | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 4 | 5 |
| Відносна похибка, % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,099 | 0,299 | 0,398 | 0,498 |
| Лазерна лінійка, мм | 1000 | 1150 | 1180 | 1340 | 4310 | 2300 | 2890 | 8150 | 6397 | 4239 |
| Кут нахилу, ° | 0 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 13 | 14 | 16 |

Проаналізувавши дані табл. 2 можна вважати, що модуль можна експлуатувати при куті нахилу від 0° до 13°. Далі похибка вимірювань значно зростає і достовірність вимірювань порушується.

Певні матеріали не відбивають ультразвукову хвилю, тому доцільно провести перевірку можливості використання ультразвукового модуля як засобу вимірювання рівня різних сипучих матеріалів, здатність вимірювати відстань до різного роду матеріалів.

Умови дослідження: під час досліду модуль був встановлений горизонтально по відношенню до перешкоди, матеріал якої був змінним (папір, дерево, скло, пінопласт, крупи, зернові культури, поролон). За результатами досліду, матеріалів які б поглинали ультразвукову хвилю чи заламували її не виявлено, тому можна рекомендувати ультразвукові модулі для вимірювання не лише відстані до певного об'єкта а й у якості давачів рівня сипучих матеріалів в пев-

них закритих чи відкритих ємкостях.

Отриманий зразок вимірювального пристрою наведено на рис. 3.

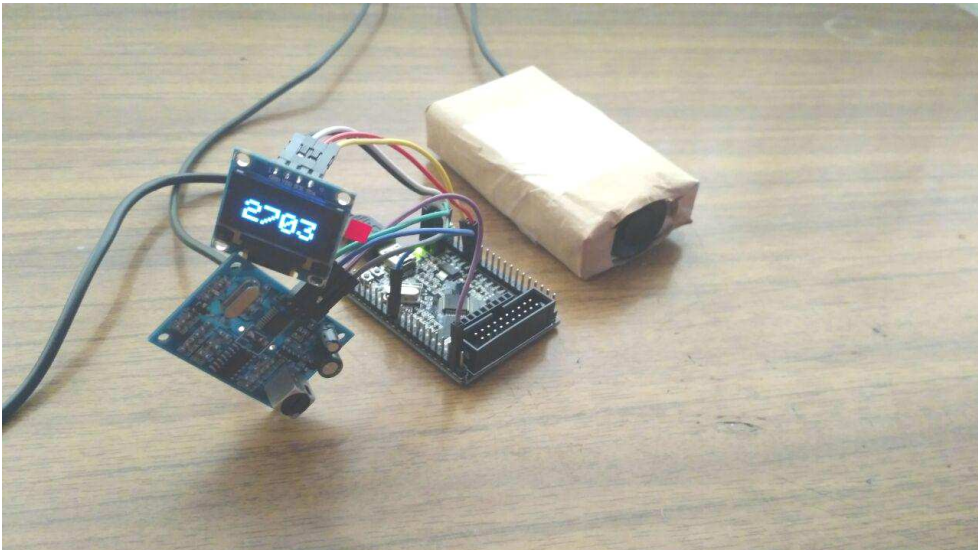


Рис. 3. Зовнішній вигляд розробленого пристрою

Особливості використання вимірювальної системи.

В процесі проведення досліджень було помічено, що на точність вимірювання швидкості поширення УЗ-хвиль у вимірювальному середовищі впливають зовнішні чинники, зокрема зміна температури середовища. Можна теоретично довести, що швидкість звуку у газах визначається за формулою [3]:

$$v_T = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}, \quad (1.3)$$

де R – універсальна газова стала;

M – молярна маса газу;

T – термодинамічна температура.

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ – показник адіабати, який показує у скільки разів молярна

теплоємність газу при сталому тиску (C_p) більша за молярну теплоємність при сталому об'ємі (C_v).

Виходячи з даної формули, де усі складові є сталими, окрім термодинамічної температури, можна зробити висновок, що швид-

кість поширення ультразвуку в середовищі (повітрі) залежить від температури.

Програмний код містить у собі формулу для визначення відстані на основі відомої частоти і швидкості поширення звуку в середовищі. Частота поширення УЗ-хвилі в середовищі є сталою, а її швидкість поширення залежить від температури і є змінною величиною [4].

Результати проведених експериментів з перевірки впливу температури на покази ультразвукового приладу для вимірювання відстані наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Вплив температури на покази ультразвукового приладу для вимірювання відстані

| Відстань(мм) | при 19° С (мм) | при 25° С (мм) | при 15° С (мм) |
|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 1000 | 1000 | 960 | 1030 |
| 2000 | 2000 | 1955 | 2044 |
| 3000 | 3000 | 2951 | 3048 |
| 4000 | 4000 | 3950 | 4052 |
| 5000 | 5000 | 4948 | 5056 |
| 6000 | 6000 | 5945 | 6060 |

Висновки. Проведений аналіз існуючих методів та пристроїв вимірювання відстані вказує на необхідність розробки та дослідження нових недорогих пристроїв вимірювання відстані. В матеріалах наведено розроблений автоматичний мікропроцесорний пристрій та результати його дослідження, зокрема вказано доступний кут відхилення вимірювального модуля від горизонталі при проведенні вимірювань, показано необхідність врахування значення температури для правильного визначення швидкості поширення ультразвукової хвилі в середовищі вимірювання, на основі якої автоматично визначається відстань, на основі аналізу параметрів дача показано доцільність його використання на відстанях до 6 метрів. Отже при використанні розробленого автоматичного мікропроцесорного пристрою вимірювання можна отримати достовірну інформацію про відстань до об'єкта при правильно виконаних експлуатаційних умовах.



1. Zuckerwar A. J. Handbook of the Speed of Sound in Real Gases. Volume III (Speed of Sound in Air) Academic Press, 2002. 1000 p. 2. Киричук Ю. В., Бичук Р. В. Методи вимірювання відстані. *Вісник інженерної Академії України*. Київ, 2012. С. 73–77. 3. Ultrasonic Ranging Module HC-SR04 URL: https://www.itead.cc/wiki/Ultrasonic_Ranging_Module_HC-SR04 (дата звернення: 01.03.2019).

REFERENCES:

1. Zuckerwar A. J. Handbook of the Speed of Sound in Real Gases. Volume III (Speed of Sound in Air) Academic Press, 2002. 1000 p. 2. Куричук Ю. В., Бичук Р. В. Методи вимірювання відстані. *Вісник інженерної Академії України*. Київ, 2012. С. 73–77. 3. Ultrasonic Ranging Module HC-SR04 URL: https://www.itead.cc/wiki/Ultrasonic_Ranging_Module_HC-SR04 (дата звернення: 01.03.2019).

Рецензент: д.т.н., професор Сафоник А. П. (НУВГП)

Khrystiuk A. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Zhabchuk V. V., Senior Student, Salivonyk N. O., Senior Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

DEVELOPMENT OF MICROPROCESSOR DEVICE FOR THE AUTOMATIC DISTANCE MEASUREMENT

The main stages of the development of an automatic microprocessor ultrasonic distance measuring device are presented. For researching we used an ultrasonic module JSN-SR04T. The range of technical ability to determine the distance from 2 to 600 cm. The work of the module is not affected by solar radiation and electromagnetic noise. The principle of the module's operation is that when a positive impulse is input to the transmitter, impulses are generated at a frequency of 40 kHz and the receiver wait for the reflected wave signal. When the reflected signal arrives to the receiver, the output of the pulse module is formed at the output. The impulse is transmitted to the controller. The structure of the device is proposed. The researching results of the developed device on the possibility of its appliance are presented and analyzed. Getting adequate results for measured distances and the ease of use of devices to determine the distance are important. Results of the researching reflect that the accuracy of the measurement of the velocity of the propagation of ultrasonic waves in

the measuring medium is influenced by external factors, in particular, the change in the temperature of the medium. The materials show the developed automatic microprocessor device and the results of its research: the available angle of the deviation of the measuring module from the horizontal during measurements, shows the need to take into account the temperature value for the correct determination of the velocity of the ultrasonic wave propagation in the measuring, on the basis of which the distance is automatically determined, based on the analysis of sensor parameters shows the expediency of its appliance at distances of up to 6 meters. So, using the developed automatic microprocessor measuring device, reliable information can be obtained about the distance to the object under correctly executed operating conditions.

***Keywords:* distance, ultrasound, microprocessor device, automatic measurement, parameters of the measuring device.**

Христюк А. А., к.т.н., Жабчык В. В., студент, Саливоньк Н. А., студент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОГО МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

Приведены главные этапы разработки автоматического микропроцессорного ультразвукового прибора измерения расстояния. Предложено строение устройства и проанализировано результаты исследования работы разработанного устройства с целью определения возможностей его использования.

***Ключевые слова:* расстояние, ультразвук, микропроцессорное устройство, автоматическое измерение, параметры измерителя.**
