

циклічного нагрівання та охолодження евтектичної реперної точки температури, а також розроблення методів та засобів гомогенізації евтектичного матеріалу реперної точки температури.

1. Кубо Р. Термодинаміка 1970. – 304 с.
 2. Енциклопедія термометрії / Я. Т. Луцик, Л. К. Буняк, Ю. К. Рудавський, Б. І. Стадник, Львів, 2003. – С. 373–376, 402–403.
 3. Куинн Т. Температура / перевод с англ. – М.: Мир, 1985. – 447 с.
 4. Чистофорова Н. В., Колмогоров А. Г. Технические измерения и приборы. Часть 1. Измерение теплоэнергетических параметров. – Ангарск, АГТА, 2008. – С. 38–39.
 5. International Temperature Scale 1990 (ITS-90)/Document of BIMP. – Paris. – 1989.
 6. Recommended values of temperature on the ITS-90 for a selected set of secondary reference points / R. E. Bedford, G. Bonnier,

H. Maas, F. Pavese // Metrologia. – 1996. – № 33. – С. 133–154.
 7. http://temperatures.ru/pages/repertnye_tochki_mtsh_90.
 8. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986. – 554 с.
 9. Прохоренко С., Панас А., Стадник Б. Вивчення можливості використання евтектичного сплаву In-In₂Bi як робочої речовини температурного репера // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2005. – № 65. – С. 59–62.
 10. Метрологія, стандартизація та управління якістю / Л. П. Клименко, Л. В. Пізінцалі, Н. І. Александровська, В. Д. Євдокимов. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – 243 с.
 11. Курц В., Зам П. Направленная кристаллизация эвтектических материалов. Получение, свойства естественных композитов / пер. с нем. под ред. Ю. Н. Тарана. – М.: Металлургия, 1980. – 272 с.

УДК 621.317

ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ МЕТОДІВ ВІМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В РІДИНАХ

© Петровська Ірина, Івах Роман, Сопрунюк Анастасія, 2015

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Досліджено можливість вимірювань температури у воді із застосуванням двох акустичних методів: ехо-пульс і часоімпульсного. Для проведення вимірювань використано потоковий канал, через який пропускали воду, температура якої змінювалась і вимірювалась з використанням ультразвукових сенсорів. Встановлено залежність температури води від параметрів ультразвукового сигналу. Проведені дослідження показали, як саме змінюється швидкість звуку у воді зі зміною температури у ній. Наведено графік отриманого сигналу зі зміною температури від 10 °С до 60 °С.

Исследована возможность измерений температуры в воде с использованием двух акустических методов: эхо-пульс и время-импульсного. Для проведения измерений использовано потоковый канал, через который пропускали воду, температура которой изменялась и измерялась с использованием ультразвуковых сенсоров. Выявлено зависимость между амплитудой и временем ультразвукового сигнала. Проведенные испытания показали, как именно изменяется скорость звука в воде с изменением температуры в ней. Представлено график полученного сигнала с изменением температуры от 10 °С до 60 °С.

In this work the subject of the research is the average temperature of liquids by using two acoustic methods: echo-pulse method and time-pulse method. For conducting the measurements the flow channel is used, through which water was passed, the temperature of which has changed and which must be measured. For the temperature measurements ultrasonic sensors are used, which are fixed on both sides of the current channel.

The calculation of the special design of the mounting is made and the ultrasonic sensors are chosen. The size estimation of the glass coupling rod is made, based on the average temperature of the glass cylinder, thermal resistance, cylindrical glass square. The block diagram is presented for measuring the passage time of the ultrasonic signal in the measuring channel, according to which the transmitter and receiver are in direct contact with the pipe. For better contact ultrasonic gel was used. In addition, the oscilloscope to measure audio signals and device for generating acoustic pulses and their measurement using echo-pulse method are used. The results of studies using the echo pulse and the time-pulse methods are presented. The first measurement of the echo-pulse method was performed using the ultrasonic sensor on the pipe when the flow of water is active and the temperature of the water in the thermostat is fixed in the range from +10 C to 60 °C. The second dimension using this method is conducted when the flow of water is inactive in conditions of the same temperatures. The obtained results of measurements using the time-pulse method with an oscilloscope and an exemplary device when the temperature changes from 20 °C to 60 °C in increment of 10 are presented. The graphs of the dependencies obtained for all investigated temperatures are depicted. It is revealed that the current times of the sound pulses with increasing temperature are short. The chart is moved to the left. The signal on the oscilloscope screen in conditions of 60 °C is received. The first channel shows the audio signal acquiring with an exemplary device. The second channel shows the measuring signal. The next measurement is made with a glass cylinder, which is placed between the pipe and the ultrasonic sensor. The results of measurements using a glass cylinder in the temperature range from 20 °C to 60 °C are presented. The results of the carried out measurements show how the amplitude of the ultrasonic signals with a signal change is modified. Having this change it is possible to find the temperature which is needed to be determined. By using oscilloscope the dependence between amplitude and time of the ultrasonic signal is revealed. Studies have shown in which way the sound speed in water is changing with its internal temperature change.

1. Вступ. Акустична термометрія – це термометрія, що ґрунтується на залежності швидкості поширення звуку (ультразвуку) у речовині від температури. Речовиною можуть бути гази, рідини, тверді речовини. Діапазон вимірювання визначається стійкістю матеріалу до нагрівання та можливістю поширення у матеріалі акустичних коливань. Теоретично діапазон вимірюваних температур – у межах від криогенних температур до $\sim 10^4$ К, практично – у межах від криогенних температур до температури топлення вольфраму. Варто зазначити, що загалом можливості, акустичних методів вимірювання надзвичайно широкі, ще далеко не до кінця реалізовані [1].

Основною перевагою ультразвукового вимірювання є те, що воно не руйнує і не пошкоджує досліджуваний зразок, а також дає змогу здійснювати контроль виробів з різноманітних матеріалів – як металів, так і неметалів. Окрім того, варто відзначити такі переваги цього методу вимірювання температури, як високу швидкодію за низької вартості; високий рівень безпеки для людини (порівняно з рентгєнівською дефектоскопією) та мобільність ультразвукового дефектоскопа [2].

У роботі здійснено вимірювання середньої температури рідин за допомогою двох акустичних

методів: часоімпульсного та ехо-пульс методу. Ехо-пульс метод – це метод, у якому ультразвуковий сенсор використовується і як передавач, і як приймач, тоді як у часоімпульсному методі застосовують два ультразвукові сенсори: один – передавач, інший – приймач.

В ультразвукових термометрах з великою довжиною вимірювального каналу складним питанням є кріплення і герметизація сенсора, оскільки опори та ущільнення можуть бути джерелами додаткових відбивань, тому додатково проведено розрахунок конструкції кріплення ультразвукового сенсора.

2. Метою дослідження є вимірювання температури рідин за допомогою двох акустичних методів: ехо-пульс і часоімпульсного та методики розрахунку конструкції кріплення ультразвукового сенсора.

3. Методика проведення експериментальних досліджень.

3.1. Розрахунок конструкції кріплення ультразвукового сенсора

Для проведення вимірювань взято канал з діаметром 29 мм, товщиною стінки 1,5 мм, довжиною труби 500 мм, а також використано додаткові прилади: осцилограф та термостат.



Рис. 1. Зображення вимірювального об'єкта без кріплення (а) та конструкції для кріплення (б)

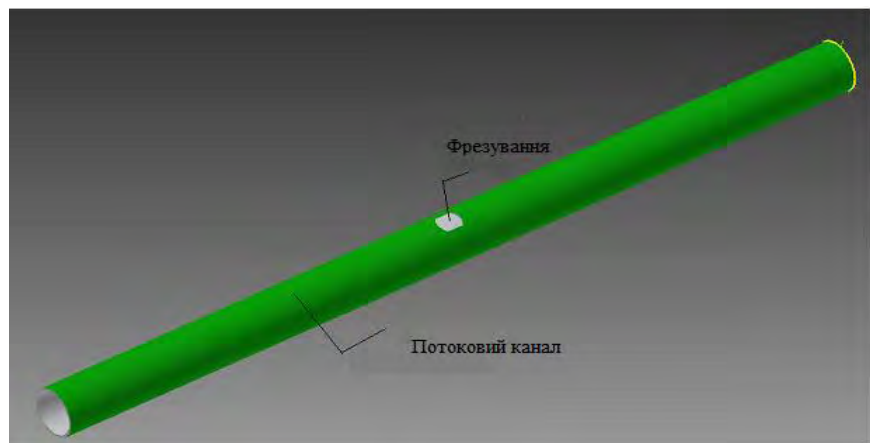
Fig. 1. Image of the measuring object without fastening (a) and construction for fastening (b)

На рис. 1, а зображено вимірювальний об'єкт без кріплення, який складається з каналу для подавання потоку води, насоса та термостата. Саме для такого каналу розроблено кріплення сенсора, загальний вигляд якого

подано на рис. 1, б. З обох боків каналу просвердлили отвори діаметром 18 мм та довжиною 1 мм (рис. 2, б), саме у цих отворах розміщували ультразвукові сенсори фірми Sonotec, типу SonoscanPS4 EN (рис. 2, а).



а



б

Рис. 2. Зовнішній вигляд сенсорів Sonoscan PS4 EN [3](а); потоковий канал із фрезеруванням (б)

Fig. 2. Original appearance of touch-controls of Sonoscan PS4 EN [3] (a); streaming channel with milling (b)

Щоб ультразвуковий сенсор термічно ізолювати від вимірювального каналу, використовують скляний циліндричний стержень, оскільки скло має невелику теплопровідність. Розміри стержня розраховували так, щоб за максимальної температури стінок каналу 95°C не перевищити максимальну початкову температуру ультразвукового сенсора 60 °С. Для цього спочатку розраховували середню температуру T_m скляного стержня циліндричної форми:

$$T_m = \frac{(T_p + T_n)}{2}, \quad (1)$$

де T_p – температура рідини 60 °С; T_n – температура зовнішньої поверхні 95 °С.

Далі розраховували термічний опір R_a для конвекції у скляному циліндричному стержні:

$$R_a = \frac{1}{\alpha \cdot A}, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт теплопередачі, який розраховували, використовуючи програмне середовище Matlab.

Площу стержня визначено зі співвідношення:

$$A = 2 \cdot p \cdot r \cdot h \cdot (h + r), \quad (3)$$

де r – радіус; h – висота стержня.

Тепловий потік середовища обчислено за формулою:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_a}. \quad (4)$$

Різницю температур розраховували так:

$$\Delta T = T_S - T_U, \quad (5)$$

де ΔT – різниця температур, К; T_S – температура сенсора; T_U – температура середовища (20 °С).

Термічний опір циліндра розраховували за формулою:

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{Q}, \quad (6)$$

$$\Delta T = T_R - T_S, \quad (7)$$

де T_R – температура труби, яка визначається як:

$$T_r = \frac{h \cdot Q}{I_{\text{скла}} \cdot A_{\text{скла}}} + T_s, \quad (8)$$

де $\lambda_{\text{скла}}$ – теплопровідність скла 0.877 Вт/(К*м), $A_{\text{скла}}$ – переріз циліндра: $A_{\text{скла}} = p \cdot r^2$, де r – радіус кола, h – розраховане значення висоти скляного стержня, визначеної з умови $T_r < T_s$ та $T_s > 90$ °С.

Оптимальні параметри скляного циліндричного стержня в цьому випадку: висота 80 мм і діаметр 12 мм. На рис. 3 схематично показано спосіб кріплення сенсора зі скляним циліндричним стержнем до вимірвального каналу. На рис. 3: 1 – ультразвуковий сенсор; 2 – скло; 3 – кришка;

4 – кріплення; 5 – підставка; 6 – вимірвальний канал (труба).

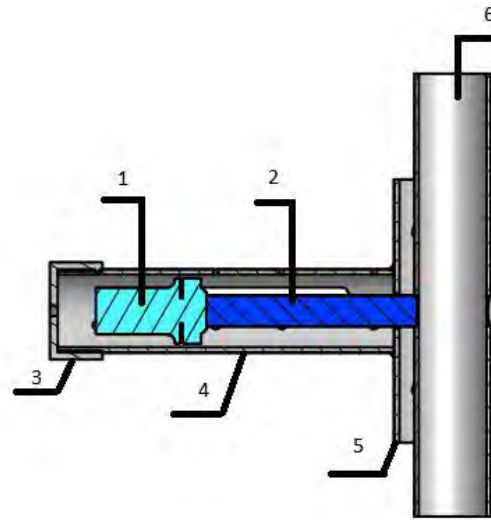


Рис. 3. Зображення кріплення

Fig. 3. Image of fastening

Блок-схема устави для вимірювання часу проходження ультразвукового сигналу у вимірвальному каналі зображена на рис. 4.

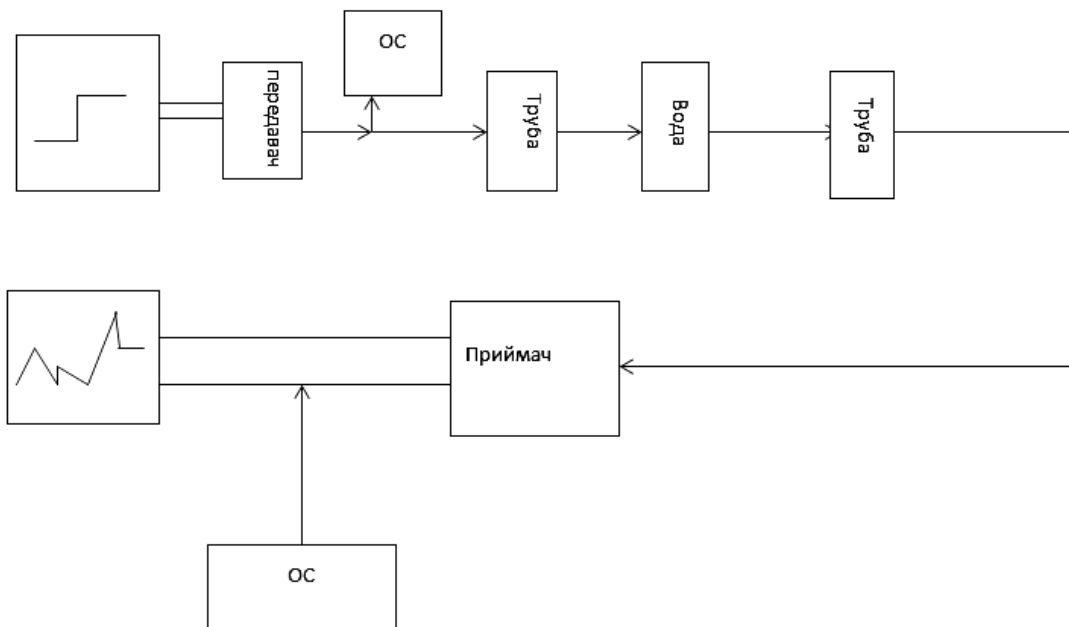


Рис.4. Принципова схема вимірвальної установки

Fig. 4. Fundamental chart of the measuring setting

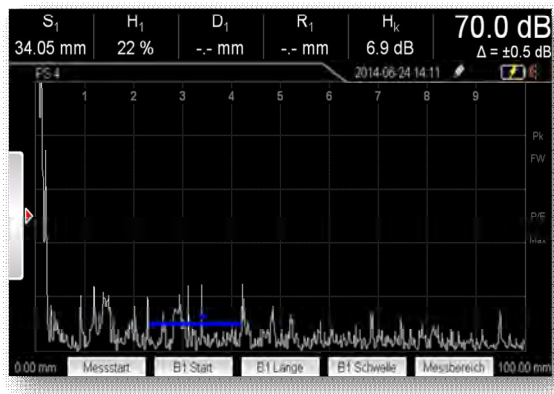
Передавач і приймач прямо контактують з трубою. Для кращого контакту використовували ультразвуковий гель. Крім того, для вимірювання

параметрів звукових сигналів використовували осцилограф (ОС) та прилад для генерації акустичних імпульсів.

4. Результати проведених досліджень.

Результати вимірювань з використанням ехо-пульс методу.

Насамперед провели вимірювання температури ехо-пульс методом з використанням ультразвукового сенсора на трубі, увімкнувши потік води.



Температура води становила +10 °С. Отримані результати подано на рис. 5, а. Далі проводили вимірювання, змінюючи температуру води від 10° С до 60 °С. Наступні вимірювання здійснювали, вимкнувши потік води. Результати вимірювань представлено на рис. 5, б.

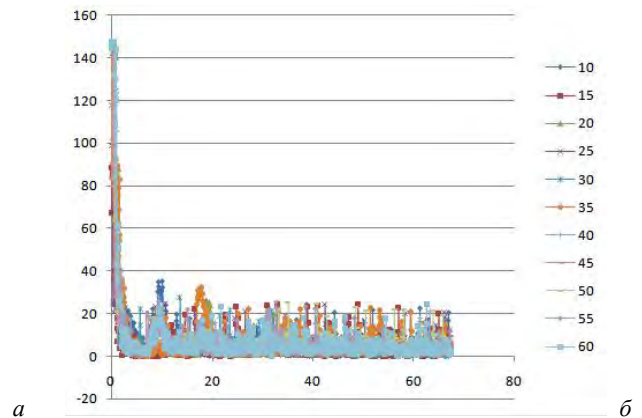


Рис. 5. Вимірювальний діапазон за температури 10 °С (а); сигнал за різних температур від 10 до 60 °С (б)

Fig. 5. Image of measuring at the temperature of 10 °C (a); signal at different temperatures from 10 to 600 °C (b)

Результати вимірювань з використанням часо-імпульсного методу.

Наступні вимірювання виконано часоімпульсним методом за допомогою осцилографа та зразкового приладу.

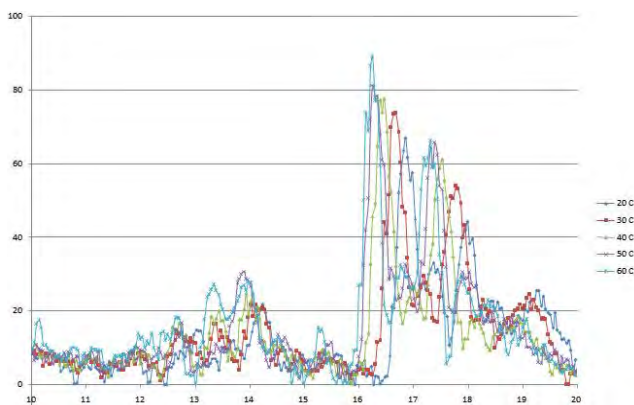


Рис.6. Отримані сигнали для температур від 20 °С до 60 °С

Fig. 6. Got signals for temperatures from 20 °C to 60 °C

Діапазон зміни температури становив від 20 °С до 60 °С з кроком 10°С. На рис. 6, а представлено графіки отриманих залежностей для усіх досліджених температур. Добре видно, що періоди звукових імпульсів зі зростанням температури ставали коротшими. Діаграма зміщується ліворуч.

На рис. 7 зображено отриманий сигнал на екрані осцилографа за температури 60 °С. На один із вхідних каналів осцилографа подаються параметри звукового сигналу зі зразкового пристрою, на інший – параметри вимірювального каналу.

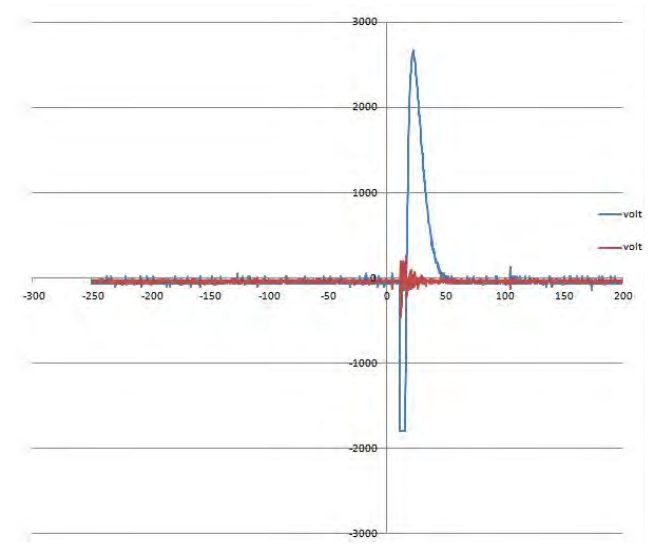


Рис. 7. Отриманий сигнал за температури 60 °С

Fig. 7. Got signals at a temperature 60 °C

Наступне вимірювання виконано зі скляним циліндричним стержем, який розташовували між

трубою та ультразвуковим сенсором. Результати вимірювань зображено на рис. 8.

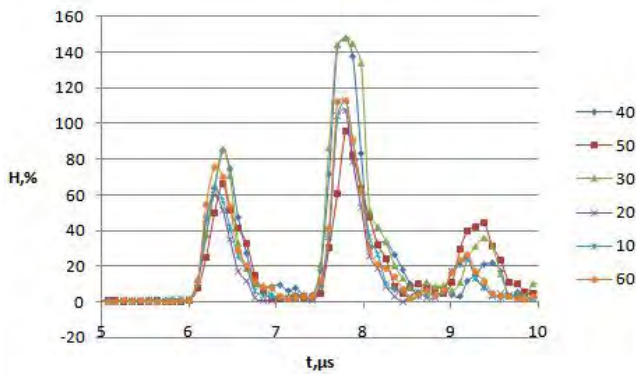


Рис. 8. Результати вимірювань із використанням скляного циліндричного стержня у діапазоні температур 20 °C до 60 °C

Fig. 8. Results of measuring with the use of glass cylinder in the range of temperatures 20 °C to 60 °C

Висновки. Досліджено можливість вимірювань температури у воді із застосуванням двох акустичних методів, а саме ехо-пульс і часоімпульсного. Для вимірювань використано потоковий канал, через який пропускали воду, температура якої змінювалась, її необхідно було виміряти. Для температурних вимірювань використано ультразвукові сенсори, які закріплювали по обидва боки каналу. Для кріплення сенсорів розроблено і розраховано спеціальну конструкцію.

За допомогою використання осцилоскопа виявлено залежність між амплітудою і часом ультразвукового

сигналу. Проведені дослідження показали, як саме змінюється швидкість звуку у воді зі зміною температури. Побудовано графік отриманого сигналу зі зміною температури від 10 °C до 60 °C.

1. Луцик Я. Т., Гук О. П., Лах О. І., Стадник Б. І. *Вимірювання температури: теорія та практика*. – Львів: Бескид Біт, 2006. – 560 с.
2. Луцик Я. Т., Стадник Б.І. *Ультразвуковая термометрия*. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
3. http://www.ptb.de/emrp/fileadmin/documents/ppe/ENG06-D3-5_Multi-sensor.pdf.
4. Луцик Я. Т. *Ультразвук в контрольно-измерительной технике и приборах* // В кн.: Датчики и методы повышения их точности. – Вып. 4. – К.: Выща школа, 1989. – С. 165–215.
5. Геращенко О. А., Гордов А. Н., Ярьшиев Н. А., Лах В. И., Луцик Я. Т., Стадник Б. И., Пуцьло В. И., Ерёмин А. К. *Температурные измерения: справочник*. – К.: Наукова думка; 1989. – 704 с.
6. Луцик Я. Т., Буняк Л. К., Стадник Б. І. *Застосування ультразвукових сенсорів*. – Львів.: С П “БаК”, 1998. – 232 с.
7. Луцик Я. Т., Буняк Л. К., Рудавський Ю. К., Стадник Б. І. *Енциклопедія термометрії*. Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2003 – 428 с.
8. *Taschenbuch der technischen Akustik/ hrsg. Von M. Heckl ; H.A. Muller – 2. Aufl. – Berlin ; Heidelberg ; New York ; London ; Paris ; Tokyo ; Hong Kong ; Barcelona ; Budapest ; Springer, 1994, S. 670.*
9. *Technische Akustik/ Michael Moser – 8., aktualisierte Aufl. – Technische Universitat Berlin ; Springer, 2009 ; S.560.*
10. https://ru.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковая_дефектоскопия.