

УДК 681.121

**ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДУ***Писарець А. В., Поліщук С. О.**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна**E-mail: anna.v@ukr.net, schet007@rambler.ru*

У статті окреслений сучасний стан впровадження вузлів обліку теплової енергії, їх структура та якість. Обґрунтована необхідність застосування ультразвукових приладів для вимірювання витрати і кількості рідиннофазних потоків у складі вузлів обліку завдяки їх перевагам порівняно з іншими класами приладів аналогічного призначення. Розглянуто ультразвукові методи вимірювання витрати рідинних енергоносіїв, оцінено можливості їх застосування для вимірювання кількості теплоти. Сформульовано вимоги до ультразвукового перетворювача витрати у складі вузла обліку кількості теплоти, що дозволить підвищити його метрологічну надійність.

Ключові слова: *кількість теплоти, теплотічильник, ультразвуковий метод, ультразвуковий перетворювач витрати.*

Вступ. Постановка проблеми

Однією із актуальних проблем та пріоритетів державної господарської політики нашої країни за умов обмежених природних паливно-енергетичних ресурсів та зростанні тарифів на них є економія паливно-енергетичних ресурсів, значну міру яких споживають системи інженерного облаштування будинків [1].

На сьогодні середній показник оснащення житлових будинків приладами комерційного обліку в країні складає трохи більше 50 % [2]. Зазначений, надзвичайно низький рівень, встановлення вузлів обліку теплової енергії в комплексі з іншими недоліками організації системи централізованого теплопостачання призводить до низької ефективності впровадження заходів з енергозбереження, спрямованих на раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів.

Аналіз встановлення у будинках вузлів обліку теплової енергії дозволить скоротити її споживання протягом найближчих 1-3 років в середньому на 15-20 %, що, безумовно, позитивно вплине на фінансовий стан споживачів. Також, забезпечення обов'язкового приладового комерційного обліку не дозволить суб'єктам господарювання у сферах природних монополій перекладати понаднормативні втрати у теплових мережах на споживачів [2].

Отже, одним із головних пріоритетів підвищення ефективності використання теплової енергії є максимально точно та достовірно її визначення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для обліку кількості теплоти застосовуються теплотічильники, які представляють собою вимірювальні комплекси у складі перетворювача витрати енергоносія, пари сенсорів температури та вимірювально-обчислювального блоку. Теплоті-

чильник виконує функції вимірювання, реєстрації, накопичення, збереження та відтворення інформації про кількість теплоти, масу або об'єм, витрату, температуру і тиск теплоносія, час роботи приладу, реєстрацію нештатних ситуацій та самодіагностику [3].

Сучасні теплотічильники в основному базуються на тахометричних, електромагнітних та ультразвукових вимірювальних перетворювачах витрати рідиннофазних потоків.

До витратомірів та лічильників висувають низку вимог, задовольнити які одночасно доволі складно, а інколи і неможливо [4, 5]. При цьому їх розділяють на дві групи: індивідуальні вимоги (висока точність, надійність, швидкодія і т. п.) та вимоги, що характеризують усю групу витратомірів і лічильників (необхідність вимірювання витрати і кількості теплоти при суттєвих зовнішніх дестабілізуючих факторах).

Порівняльний аналіз зазначених класів засобів вимірювання для реєстрації витрати і кількості речовини дозволяє виокремити ультразвукові витратоміри і лічильники, завдяки їх перевагам, а саме: простоті конструкції, відсутності рухомих елементів та частин, що виступають у потік, високій чутливості, практично відсутності втрати тиску, високій точності вимірювання у широкому діапазоні реєстрованих витрат, здатності відстежувати динамічні зміни швидкості потоку, стабільності метрологічних і експлуатаційних характеристик протягом тривалого часу, можливості вимірювання реверсивних та багатофазних потоків [6 – 11].

Вадами існуючих вузлів реєстрації теплової енергії є суттєва невизначеність вимірювання та недостатня їх метрологічна надійність.

Метрологічна надійність вузлів обліку кількості теплоти визначається безвідмовною роботою

усіх складових та зберіганням величини невизначеності вимірювання у її допустимих межах протягом міжповірного інтервалу. Значний вклад у сумарну невизначеність вузла обліку теплової енергії мають вимірювальні перетворювачі витрати.

Метою даної статті є оцінка потенціалу подальшого розвитку та застосування на практиці ультразвукових вимірювальних перетворювачів витрати у складі вузлів обліку теплової енергії.

Класифікація ультразвукових методів вимірювання витрати

Ультразвуковий метод вимірювання витрати рідини базується на використанні ефекту зсуву акустичних коливань потоком контрольованого середовища. Ступінь зсуву може бути виявлена шляхом вимірювання одного з параметрів, що характеризують ультразвукові коливання – фази,

частоти, амплітуди та ін. [12].

Ультразвукові вимірювальні перетворювачі (УЗП) витрати можна класифікувати за такими ознаками (рис. 1): спосіб руху ультразвукових (УЗ) хвиль; спрямованість УЗ променя відносно потоку; кількість каналів вимірювання; вид акустичного шляху [13]; спосіб розміщення п'єзоперетворювача.

Залежно від характеру руху УЗ хвиль відомо три методи реєстрації витрати рідин та газів (рис. 2)

1. Метод, що базується на різниці швидкості розповсюдження УЗ хвиль, спрямованих за потоком та проти нього (рис. 2, а). Зондуючий імпульс в даному випадку випромінюється і приймається по чергово парами п'єзоелектричних перетворювачів.

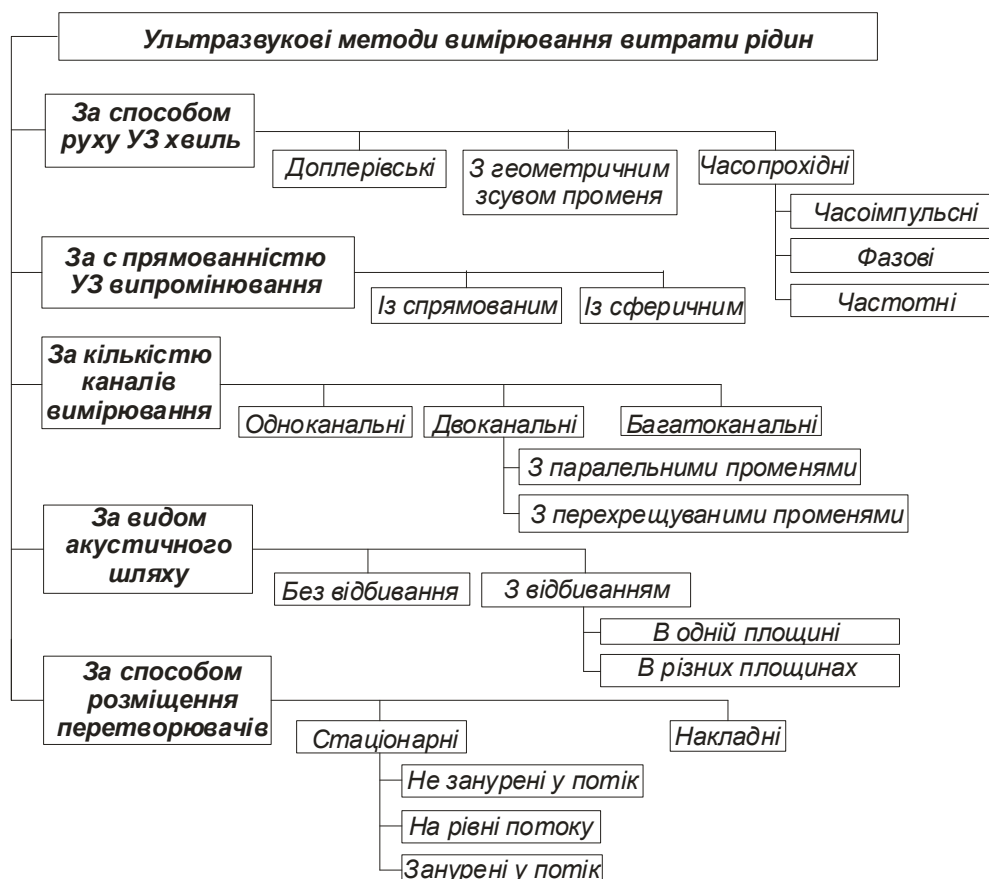


Рис. 1. Загальна класифікація ультразвукових методів вимірювання витрати

Даний метод реалізується трьома принципами вимірювання: часоімпульсним, фазовим та частотним [14 – 16]:

- у часоімпульсних засобах вимірювань в процесі реєстрації пари акустично пов'язаних між собою перетворювачів витратоміра по чергово генерують та приймають визначене число ультразвукових імпульсів. Інтервал ча-

су між посиланням та прийомом ультразвукових сигналів змінюється у двох напрямках. Порівнюючи час проходження сигналу за потоком та проти нього, автоматично визначається швидкість вимірюваного середовища. За отриманим значенням швидкості та номінальним діаметром вимірювальної ділянки

автоматично здійснюється визначення об'ємної витрати [8, 16, 17].

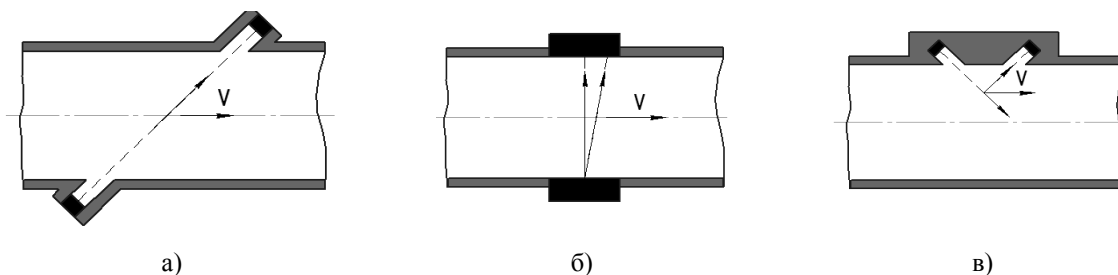


Рис. 2. Схеми вимірювання витрати за допомогою УЗ методів: а – часопрхідний; б – геометричного зсуву променя; в – доплерівський

- 2) *фазові* витратоміри базуються на залежності фазових зсувів УЗ коливань, що виникають на прийомних п'єзоелементах, від різниці часів проходження цими коливаннями однієї та тієї ж відстані за потоком рухомого середовища та проти нього.
- 3) *частотні* прилади базуються на залежності різниці частот повторення коротких імпульсів або пакетів УЗ коливань від різниці часів проходження цими коливаннями однієї і тієї ж відстані за потоком вимірюваного середовища та проти нього [17].

2. Метод, який базується на геометричному зсуві УЗ хвилі (з перпендикулярним розташуванням променя відносно осі потоку), обумовлений плином вимірюваного потоку (рис. 2, б). УЗ хвилі випромінюються у вимірюване середовище по нормалі до напрямку руху потоку. Два приймальних п'єзоелементи розміщуються один біля одного так, що при нерухомому вимірюваному потоці пакети імпульсів, прийнятих кожним п'єзоелементом, однакові. При плинні вимірюваного потоку УЗ хвилі розповсюджуються за напрямком потоку, при цьому інтенсивність УЗ коливань на прийомних п'єзоелементах відрізняється. Отримана різниця сигналів на прийомних п'єзоелементах є мірою витрати.

3. Метод, який використовує ефект Доплера, що базується на зміні частоти хвилі під час її відбивання від рухомого об'єкту. Зміна частоти відбитого сигналу дозволяє визначити швидкість потоку. Вимірювана різниця частот може служити для вимірювання місцевої швидкості потоку.

За спрямованістю УЗ променя відносно потоку випромінювання витратоміри поділяються на дві категорії:

- із спрямованим випромінюванням – пара давачів по чергово випромінює вузькоспрямовані імпульси у бік один одного (рис. 3, а);
- із багатонапрямним випромінювачем, який випромінює широкоспрямований імпульс, адре-

сований відразу декільком приймачам, розташованим вище та нижче за потоком (рис. 3, б).

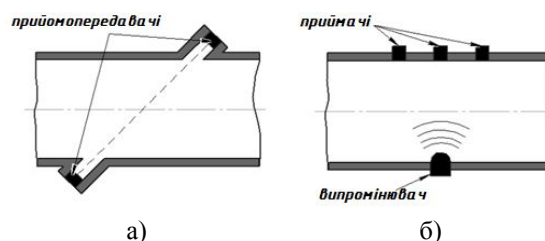


Рис. 3. Види зондуючих імпульсів: а – спрямований імпульс; б – сферичний імпульс

За кількістю каналів вимірювання УЗ витратоміри поділяють на:

- одноканальні (однопроменеві) – мають два п'єзоелектричні перетворювачі, кожен з яких по чергово виконує функції випромінювача та приймача (рис. 4, а);
- двоканальні (двопроменеві) – містять чотири п'єзоелектричні випромінювачі, що створюють два незалежних акустичних канали (рис. 4, б, в), які розташовані або паралельно, або навхрест;
- багатоканальні (багатопробеневі) – мають більше двох каналів та застосовуються з метою досягнення підвищеної точності (рис. 4, г).

За видом акустичного шляху УЗ перетворювачі витрати можна поділити на дві групи:

- з відбиванням – зондуючий імпульс від випромінювача перед тим як досягнути приймача, один або декілька разів відбивається від внутрішньої поверхні вимірювального тракту. Усі відрізки шляху зондуючого імпульсу можуть знаходитись як в одній (рис. 5, а), так і в різних площинах (рис. 5, в);
- без відбивання – зондуючий імпульс від випромінювача проходить крізь потік та досягає приймача (рис. 5, б).

За способом розміщення п'єзоелектричних перетворювачів (ПЕП) існують УЗ витратоміри:

- із зануреними перетворювачами – ПЕП випромінюють пакети імпульсів безпосередньо у вимірюване середовище (рис. 6, а);
- із накладними перетворювачами (витратоміри з заломленням) – ПЕП встановлюється на стінку трубопроводу, зонduючий імпульс проходить крізь стінку трубопроводу та потрапляє до вимірюваного потоку (рис. 6, б).

Поглиблений аналіз та оцінка метрологічних характеристик розглянутих ультразвукових методів вимірювання витрати рідиннофазних потоків показує, що:

- для високоточних вимірювань витрати доцільно застосовувати часопрхідний метод, оскільки методу геометричного зсуву УЗ хвилі притаманна низька чутливість, а доплерівський метод має обмежені можливості при вимірюванні витрати і найбільш широко застосовується для реєстрації локальних швидкостей;

- у промислових зразках витратомірів, завдяки простому алгоритму обчислень швидкості потоку внаслідок однозначності шляху, який проходить імпульс, набагато частіше застосовується спрямоване випромінювання;
- схема зі сферичним передавачем теоретично має ряд переваг (більш проста конструкція зважаючи на наявність лише одного випромінювача та декількох приймачів, можливість проведення одночасних вимірювань швидкості проходження імпульсу за потоком та проти нього, що зменшує чутливість приладу до незначних коливань поля швидкостей), однак на практиці подібна схема використовується рідко через складність створення передавача із достатньо широким кутом та рівномірним випромінюванням в усіх напрямках;

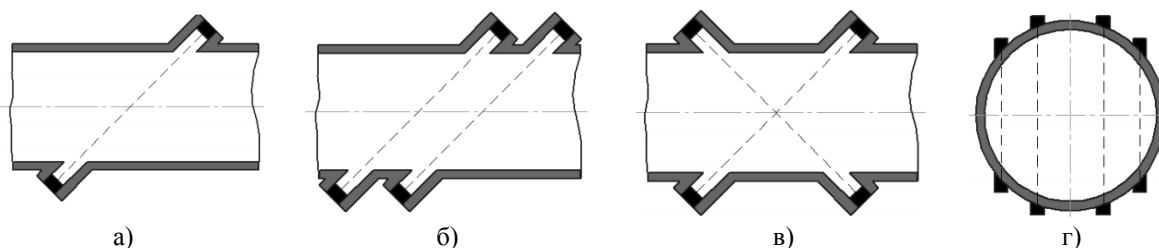


Рис. 4. Схеми УЗ перетворювачів витрати: а – одноканальний, б – двоканальний з паралельними променями, в – двоканальний з променями навхрест, г – багатоканальний

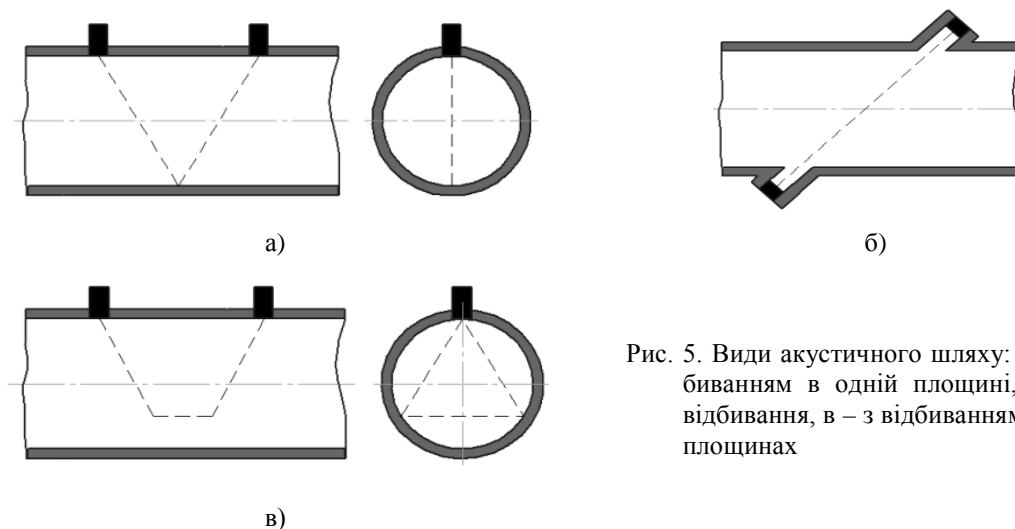


Рис. 5. Види акустичного шляху: а – з відбиванням в одній площині, б – без відбивання, в – з відбиванням у різних площинах

- одноканальні витратоміри застосовуються для вимірювання витрати потоків з розвинутим симетричним профілем швидкості та у випадках, коли не потрібна висока точність;
- двоканальні перетворювачі застосовуються, як правило, на трубопроводах малих та середніх номінальних діаметрів, у випадках, коли точ-

- ність одноканального витратоміру є недостатньою;
- багатоканальні витратоміри характеризуються підвищеною точністю вимірювань, оскільки менш чутливі до асиметричності потоку, тому застосовуються у трубопроводах великого діаметру та у випадках, коли профіль потоку суттєво здеформований і спотворений;

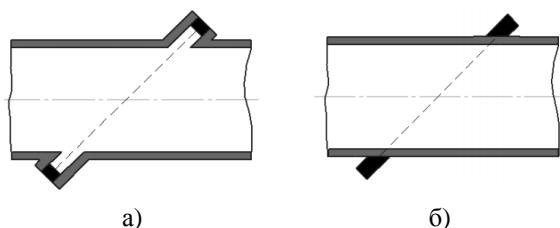


Рис. 6. Способи розміщення УЗ перетворювачів:
а – із зануренням ПЕП, б – накладні ПЕП

- перевагою конструкції із акустичними шляхами без відбивання є однозначність визначення довжини шляху зондуючого імпульсу та, як наслідок, більш простий алгоритм визначення швидкості потоку, і менша чутливість приладу до паразитних шумів;
- перевагою перетворювачів із відбиванням є менша чутливість до малих випадкових пульсацій та нерівномірності поля швидкостей потоку; їх недоліками є чутливість до паразитних шумів та ускладнений алгоритм виділення корисного сигналу;
- найвищу точність вимірювання забезпечують витратоміри із зануреними перетворювачами, оскільки при такому їх розміщенні між ними найменша кількість завад для зондуючого імпульсу та виникає найменша кількість паразитних шумів;
- прилади із накладними ПЕП характеризуються простотою встановлення (не потрібно врізання у тіло трубопроводу), однак більш низькою точністю, порівняно зі стаціонарними.

Висновки

Проведений аналіз ультразвукових методів вимірювання витрати та метрологічних характеристик приладів на їх основі дозволяє сформулювати вимоги до сучасного УЗ витратоміра у складі вузла обліку кількості теплоти: час-імпульсний принцип вимірювання; один або два вимірювальних канали; занурені п'єзоелектричні перетворювачі.

Перспективою подальших досліджень є оцінка впливу гідродинамічних параметрів потоку (діаметр вимірювальної ділянки, число Рейнольдса, наявність місцевих опорів поблизу місця встановлення приладу та його просторова орієнтація) на похибку вимірювання.

Література

1. Фиалко И. Ф. Индивидуальный учет теплопотребления отапливаемых квартир – фактор снижения расходов топливно-энергетических ресурсов / И. Ф. Фиалко, И. В. Шестерень. Режим доступа:

https://www.ista.com/fileadmin/twt_customer/countries/content/Belarus/Publications/EnEffTech.pdf

2. Режим доступа: <https://den.energy.gov.ua/77-aktualni-pitannya/479-oblik-teplovei-enerhii-i-shliakhy-zaoshchadzhennia-naselenniam-obsiahu-spozhyvannia-enerhoesursiv>
3. ДСТУ EN 1434-1:2006 Теплолічильники. Частина 1. Загальні вимоги (EN 1434-1:2006, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 14 с.
4. Режим доступа: <http://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/160>
5. Фридман А. З. Теория метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника. – 1991. – № 11.
6. Режим доступа: <http://prock.com.ua/metererror/>
7. Режим доступа: http://vlp.com.ua/files/14_46.pdf
8. Промислові та побутові витратоміри [Текст]: конспект лекцій для студентів факультету ЕПЕС, напряму підготовки 6.051003 – “Приладобудування” денної та заочної форм навчання / Уклад. О. Л. Кайдик, Т. В. Терлецький. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. – 56 с.
9. Расходомеры и счетчики веществ: Справочник: Кн. 1. / Под общ. ред. Е. А. Шорникова – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. – 409 с.
10. Расходомеры и счетчики веществ: Справочник: Кн. 2. / Под общ. ред. Е. А. Шорникова – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.
11. Коробко И. В. Ультразвуковой метод измерения расхода и количества жидкостей и газов / И. В. Коробко, А. Н. Дидковская, П. К. Кузьменко // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2006. – №4. – С. 16 – 20.
12. Морозов В. Б. Сравнительные характеристики ультразвуковых расходомеров // Приборы и системы управления. – 1997. – №11. – С. 19 – 20.
13. Методика выполнения измерений с помощью ультразвуковых преобразователей расхода // СТО Газпром 5.2-2005. – 2006.
14. Табин Д. Ультразвуковой метод измерения скорости потока, основанный на оценке разности интервалов времени распространения звука в разных направлениях // Контрольно-измерительная техника. – 1989. – № 9. – С. 12 – 16.
15. Бергман Л. Ультразвук. – М.: Изд-во иностр. лит., 1957. – 726 с.
16. Биргер Г. И. Элементы общей теории ультразвуковых расходомеров // Измерительная техника. – 1961. – № 4. – С. 42 – 48.
17. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.

УДК 681.121

А. В. Писарец, С. А. Полищук*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина***ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА**

В статье оценено современное состояние внедрения узлов учета тепловой энергии. Исследована структура узла учета количества теплоты. Доказано, что метрологическая надежность теплосчетчика зависит от качества преобразователя расхода. Обоснована необходимость применения ультразвуковых приборов для измерения расхода и количества энергоносителей в составе узлов учета, благодаря их преимуществам по сравнению с другими классами приборов аналогичного назначения.

Рассмотрены ультразвуковые методы измерения расхода жидкостных энергоносителей, оценены возможности их применения для измерения количества теплоты. Сформулированы требования к ультразвуковому преобразователю расхода в составе узла учета количества теплоты, что позволит повысить его метрологическую надежность.

Ключевые слова: количество теплоты, теплосчетчик, ультразвуковой метод, ультразвуковой преобразователь расхода.

A. V. Pisarets, S. O. Polishchuk*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine***HEAT ENERGY QUANTITY MEASUREMENT USING ULTRASONIC METHOD**

The saving of fuel and energy resources is one of the most actual problems for our country. The most part of it consumed by the engineering systems of buildings. Each apartment connected to the district heating system consumes the heat needed to maintain the optimum temperature. Precise and reliable definition of the heat energy is one of the main priorities for increasing its efficiency. It is carried out by heat meters. Modern heat meters are based on tachometric, electromagnetic and ultrasonic measuring transducers of liquid phase flow rates. A comparative analysis of these classes of flow rate transducers and devices based on them allows us to choose ultrasonic flow meters because of their advantages. The classification of ultrasonic methods of flow measuring by ultrasonic wave propagation, the direction of the ultrasound beam relative to the flow, the method of placement of the piezoelectric transducer, the type of acoustic channel and the number of measuring channels is described. The possibilities of their application for heat quantity measuring are estimated. The requirements to the heat quantity units took into account. The requirements for the ultrasonic flow rate transducer in the measuring unit structure are formulated, which will increase its metrological reliability. The direction of further research is grounded in the assessment of the influence of the hydrodynamic parameters of the flow and the operating conditions of the ultrasonic transducer, such as the diameter of the measuring area, the Reynolds number, the presence of local resistances near the installation location and its spatial orientation, the measurement error.

Keywords: heat quantity, heat meter, ultrasonic method, ultrasonic flow rate transducer.

*Надійшла до редакції
14 квітня 2017 року*

*Рецензовано
27 квітня 2017 року*

© Писарець А. В., Полищук С. О., 2017