

10. Зевеке, Г. В. Основы теории цепей [Текст]: учебник для вузов / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Стахов. — 5-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 528 с.
11. Шевченко, С. Ю. Метод визначення спроможності обмежувача перенапруг нелінійного поглинати енергію без втрати теплового балансу [Текст] / С. Ю. Шевченко // Електро-техніка та електромеханіка. — Харків, 2015. — № 4.

АНАЛІЗ РЕЖИМА РОБОТИ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ВЛИЯННІ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕННЯ

В статті розглянуто роботу обмежувача перенапружених нелінійного в режимах квазістационарних перенапружених і виявлено, що подібна робота практично неможлива. Виконані розрахунки енергії, що розсіює обмежувач перенапружених нелінійний при впливі напруження, в складі якої мають місце вищі гармоніки. Розрахунки проведені на базі вольт-амперної характеристики обмежувача перенапружених нелінійного, яка дозволяє визначити

значення токів при наявності в мережі напруження з вмістом гармонічних коливань.

Ключові слова: обмежувач перенапружених нелінійний, вольт-амперна характеристика, теплові режими, гармонічні коливання.

Шевченко Сергій Юрійович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, e-mail: syurik42@rambler.ru.

Шевченко Сергій Юрійович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри передачі електроенергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.

Shevchenko Sergey, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: syurik42@rambler.ru

УДК 681.121:621.643.8

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.46985

Білинський Й. Й.,
Гладишевський М. В.

РОЗРОБКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ПЛИННИХ СЕРЕДОВИЩ

В статті проведено короткий аналіз основних ультразвукових методів і засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ. Запропоновано математичну модель поширення ультразвукової хвилі в плинному середовищі та ультразвуковий метод вимірювання швидкості плинних середовищ на її основі. Приведена структурна схема ультразвукового вимірювача швидкості потоку на основі амплітудно-частотного методу.

Ключові слова: витратомір, контроль витрат, ультразвук, швидкість звуку, частота, ближня зона.

1. Вступ

Акустичні витратоміри засновані на використанні того чи іншого акустичного ефекту, якому швидкість поширення плинного середовища змінює той чи інший параметр звукової хвилі. Оскільки, практично усі акустичні витратоміри працюють в діапазоні ультразвукових (УЗ) коливань, тому називаються ультразвуковими.

На сьогодні відомо три основних ультразвукових методи за різницею принципів роботи та витратоміри на їх основі. До них відносяться фазові витратоміри (вимірювання різниці фазових зсувів ультразвукових коливань, що направляються по потоку і проти нього); частотні витратоміри (вимірювання різниці частот повторення коротких імпульсів чи пакетів ультразвукових коливань, що направляються одночасно по потоку і проти нього); часово-імпульсні витратоміри (безпосереднє вимірювання різниці часу проходження коротких імпульсів, що направляються по потоку і проти нього) [1].

Кожен з вищевказаних методів мають певні недоліки, основними з яких є низька точність за рахунок відсутності стабільної структури та пульсації потоку, а також неточність у реєстрації положення початку імпульсного сигналу, обумовлена розмиттям фронту

наростання сигналу, залежність чутливості, а отже частоти імпульсного сигналу від розмірів трубопроводу, складність обробки сигналу у зв'язку з використанням багатоканальної структури ультразвукового витратоміра (УЗВ) [2, 3].

Метою роботи є розробка методу вимірювання витрат, який забезпечує високу точність вимірювання та оснований на різницевому принципі визначення частот поширення ультразвукової хвилі.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Ультразвукові витратоміри використовуються в промисловості для вимірювання об'ємної витрати рідин вже протягом 20 років і з недавніх часів для вимірювання об'ємної витрати газів. Перша пропозиція щодо застосування ультразвуку для вимірювання об'ємної витрати наводиться в німецькому патенті 1928 року [4]. Однак, тільки з розвитком п'єзоелектричних перетворювачів за останні 40 років УЗВ набули неабиякої привабливості й засновані на використанні того чи іншого акустичного ефекту, що виникає при проходженні акустичних коливань через потік плинного середовища.

Вже в 1959 році Фісчбакер надає ранній опис ультразвукових витратомірів, в якому згадуються методи різницевого часу проходження та відхилення променя. Він також описує метод вимірювання різниці фаз для отримання швидкості звуку від часу поширення для вимірювання густини [5].

Для поширення УЗ хвиль з мінімальним згасанням УЗВ для рідин працюють у мегагерцовому діапазоні, для газів — у діапазоні сотень кілогерц [6].

На сьогодні, найбільш широкого використання на об'єктах ПАТ «Укртрансгаз» набули такі лічильники, як: ECOSONIC X12 (RMA), USZ-08 (RMG), QSonіc plus (Elster Instromet), FlowSіc 600 (SICKMAIHAК).

Ультразвуковий лічильник ECOSONIC X12 обчислює швидкість проходження газу як різницю між швидкістю звуку за напрямком потоку і проти нього, вимірює час проходження з точністю до декількох наносекунд. Поєднання високочотної механічної обробки корпусу лічильника з високочастотними датчиками і знанням його розмірів гарантують найкраще вимірювання об'єму газу [7].

Ультразвуковий лічильник газу USZ 08 вимірює на підставі часу проходження ультразвукових імпульсів швидкість потоку газу і розраховує за отриманими даними робочу об'ємну витрату. При цьому використовується ефект, згідно з яким ультразвукові імпульси в напрямку потоку поширюються швидше, ніж в протилежному напрямку. Кожен датчик одночасно є передавачем і одержувачем. Вимірювання проводиться поперемінно в обох напрямках, тобто після вимірювання одного часу проходження передавач стає одержувачем і навпаки. Завдяки такому підходу виключається вплив швидкості звуку, яка залежить від виду газу, тиску і температури [8].

Ультразвуковий витратомір QSonіc plus працює за принципом визначення різниці часу проходження променя за потоком і проти потоку. Чим більша ця різниця — тим більше газу пройшло через лічильник. Поява високошвидкісних комп'ютерних процесорів дозволило виявляти дуже малі відмінності в часі проходження променя за та проти потоку [9].

Принцип дії лічильників Flowsіc 600 полягає у визначенні середньої швидкості потоку вимірюваного середовища (газу), яка пропорційна об'ємній витраті в робочих умовах з урахуванням внутрішнього діаметра трубопроводу. Для визначення середньої швидкості потоку вимірюється час проходження ультразвукових імпульсів спрямованих по потоку газу і проти нього. Приймальники-передавачі ультразвукових імпульсів встановлені по діагоналі один одному в одній площині, передаючи сигнал без його відбиття від внутрішньої поверхні трубопроводу [10].

За результатами аналізу особливостей сучасних методів і конструкцій встановлено, що УЗВ побудовані за різницевим принципом (вимірювання параметрів ультразвукової хвилі за та проти потоку) має простішу реалізацію в порівнянні із кореляційним методом, оскільки в ньому реалізована можливість вимірювати швидкості потоку чистих газів без врахування швидкості звуку в газі на відміну від методу на основі ефекту Доплера. Таким чином, для високочастотного вимірювання витрат потоків газу доцільно застосовувати УЗВ різницевого принципу вимірювання витрати потоку.

3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

Об'єктом дослідження є процес вимірювання об'єму плинних рідких і газоподібних середовищ.

Метою роботи є розробка нового амплітудно-частотного методу вимірювання витрат плинних середовищ різницевого типу, який оснований на визначенні різниці частот ультразвукової хвилі за та проти потоку, що відповідають швидкості потоку в межах ближньої зони ультразвукових перетворювачів.

В роботі ставилася задача розробити математичну моделі проходження ультразвукової хвилі в плинному середовищі з урахуванням ближньої зони ультразвукових перетворювачів і отримати залежність частоти звукової хвилі від швидкості потоку в ближній зоні.

4. Матеріали та методи дослідження залежності частоти поширення ультразвукової хвилі від швидкості потоку плинного середовища

Розглянемо особливості роботи ультразвукового перетворювача. Ультразвук отримують за допомогою зворотного п'єзоелектричного ефекту, фізична суть якого полягає у тому, що при прикладенні до торцевої поверхні пластини з кварцу чи титанату барію (тибару) змінної електричної напруги пластини буде періодично змінювати свою товщину (стиск — розтяг). В свою чергу це призведе до того, що в прилягаючих до пластини шарах зовнішнього середовища виникає то розрідження, то згущення частинок середовища, тобто виникають механічні коливання ультразвукової частоти. Графічно ультразвукову хвилю можна зобразити у вигляді синусоїди, додатні півхвилі якої відповідають згущенню в середовищі, а від'ємні — розрідженню.

Область поширення ультразвукового променя акустичного перетворювача (акустичне поле) поділяється на дві зони: ближню і дальню (рис. 1). *Дальня зона* — область акустичного випромінювання, в якій акустичний тиск поступово падає до нуля. *Ближня зона* знаходиться безпосередньо перед перетворювачем і в ній амплітуда сигналу змінюється немонотонно, тобто відповідає останньому дифракційному максимуму звукового тиску, після якого поле плавно спадає. При цьому більше 80 % енергії знаходиться в межах циліндра, обмеженого краями п'єзoeлемента, однак по перерізу циліндра енергія розподілена нерівномірно [11].

Розглянемо структуру акустичного поля двох плоских дископодібних ультразвукових перетворювачів, які знаходяться на деякій відстані z один від одного по одній осі (рис. 2).

Враховуючи випадок коли відмінність в розмірах перетворювачів a і b не дуже велика, тобто $z^2 \gg a^2, b^2$, за допомогою методу Ломмеля, було отримано вираз для нормованої амплітуди середнього тиску на приймач [12]:

$$\begin{aligned} \bar{p} / \rho c v_0 &= \frac{p_0 - p_{\text{диф}}}{\rho c v_0} = \\ &= \exp(-jkz) - D \exp \left[-jk \left(z + \frac{a^2}{2z} + \frac{b^2}{2z} + \frac{a^2 b^2}{4z^3} \right) \right], \end{aligned} \quad (1)$$

де

$$D_{b,a} = \frac{\lambda z}{\pi b^2} (E + jF), \tag{2}$$

$$E = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n (2n+1) \left(\frac{b}{a}\right)^{2n+1} J_{2n+1}\left(\frac{kab}{z}\right), \tag{3}$$

$$F = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n (2n+2) \left(\frac{b}{a}\right)^{2n+2} J_{2n+2}\left(\frac{kab}{z}\right), \tag{4}$$

де J_n — функція Бесселя порядку n .

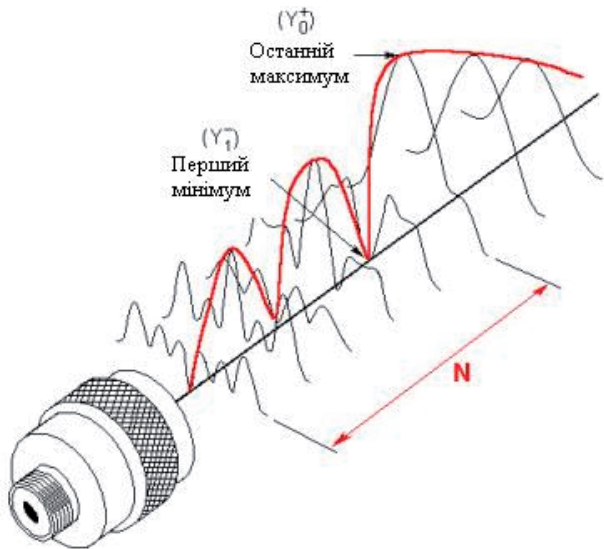


Рис. 1. Близня зона акустичного поля перетворювача

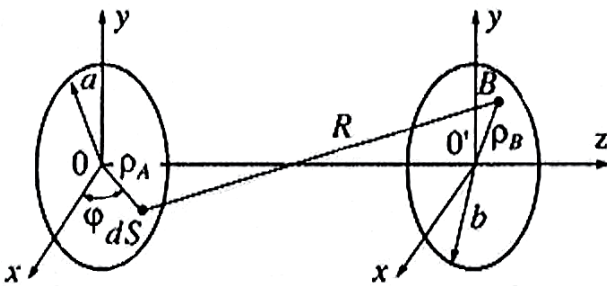


Рис. 2. Схема до розрахунку акустичного поля перетворювачів

Довжина ближньої зони одного п'єзоелемента:

$$N_{\text{бл}} = \frac{a^2}{\lambda}. \tag{5}$$

Розгляд виразу (1) для середнього тиску, створюваного випромінювачем на приймачі показує, що по аналогії з поняттям ближньої зони окремого перетворювача можна говорити про розмір ближньої зони, випромінювача та приймача, розташованих на одній осі, як суми розмірів ближніх зон випромінюючого та приймаючого перетворювачів. Таким чином, довжина ближньої зони для пари п'єзоелементів, тобто в системі випромінювач-приймач, що відповідає останньому дифракційному максимуму звукового тиску визначається як:

$$N_{\text{бл}} = \frac{a^2}{\lambda} + \frac{b^2}{\lambda}, \tag{6}$$

де a і b — радіуси п'єзоелементів, відповідно, λ — довжина хвилі.

Таким чином, для пари ультразвукових перетворювачів з однаковими розмірами (при $a = b$) довжина ближньої зони буде дорівнювати:

$$N_{\text{бл}} = \frac{2a^2}{\lambda}. \tag{7}$$

Важливою характеристикою звукових хвиль є швидкість їх розповсюдження. Вона визначається інертними і пружними властивостями середовища. Швидкість розповсюдження поздовжніх хвиль в будь-якому безмежному однорідному середовищі визначається за формулою:

$$v = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

де G — модуль стиснення, ρ — середня густина середовища.

При розповсюдженні звуку в газі атоми і молекули коливаються уздовж напрямку розповсюдження хвилі, що призводить до змін локальної густини ρ і тиску p . Співвідношення між круговою частотою ω , хвильовим числом k , довжиною хвилі λ , швидкістю звуку v , частотою f такі ж, як і для поперечних хвиль в довільному середовищі:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}. \tag{8}$$

Проаналізувавши вирази (7) та (8), можна зробити висновок, що довжина ближньої зони визначається не тільки через розміри п'єзоелемента, але й через довжину звукової хвилі. Але оскільки довжина звукової хвилі залежить від властивостей середовища, в якому вона поширюється, а також від його швидкості, то це означає її залежність від резонансної частоти f при використанні умов ближньої зони [13]. Дане твердження і було покладено в розробку нового методу вимірювання плинного середовища.

Розглянемо процес поширення ультразвукової хвилі в плинному середовищі (рис. 3).

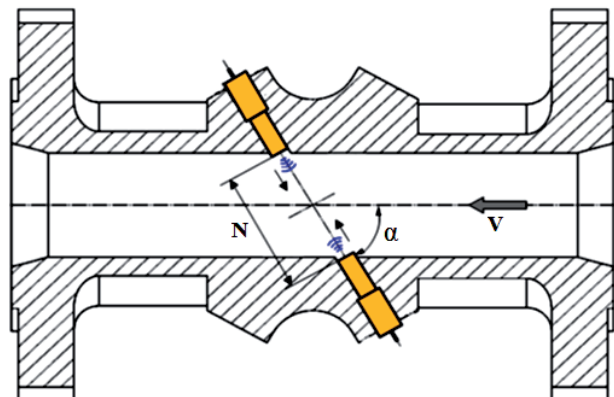


Рис. 3. Ультразвуковий спосіб вимірювання витрат рідких і/або газоподібних середовищ

Швидкість поширення ультразвукової хвилі згідно (8) визначається як:

$$V_{узх} = \lambda f, \tag{9}$$

де f – частота ультразвукових коливань.

З урахуванням швидкості потоку, довжина хвилі буде дорівнювати:

$$\lambda = \frac{(V_{узх} + V \cos \alpha)}{f}. \tag{10}$$

Тоді вираз (7) з урахуванням (10) набуде вигляду:

$$N_{бл,узх} = \frac{2a^2 f}{(V_{узх} + V \cos \alpha)}. \tag{11}$$

Дане рівняння дозволяє встановити зв'язок швидкості потоку з частотою ультразвукової хвилі. Таким чином:

$$f = \frac{N_{бл} (V_{узх} + V \cos \alpha)}{2a^2}. \tag{12}$$

З урахуванням діаметра трубопроводу D , де $N_{бл} = D/\sin \alpha$ за потоком частота ультразвукової хвилі визначається:

$$f = \frac{D(V_{узх} + V \cos \alpha)}{2a^2 \sin \alpha}. \tag{13}$$

Тоді частота ультразвукової хвилі проти потоку буде визначатися як:

$$f = \frac{D(V_{узх} - V \cos \alpha)}{2a^2 \sin \alpha}. \tag{14}$$

У випадку використання різницевої схеми залежність різниці частот Δf за та проти потоку набуде вигляду:

$$\Delta f = \frac{DV}{2a^2 \tan \alpha}. \tag{15}$$

Вираз (15) представляє собою математичну модель поширення ультразвукової хвилі в плинному середовищі.

Вище наведені викладки дають змогу запропонувати ультразвуковий метод вимірювання швидкості плинних середовищ, який полягає у визначенні частоти або різниці частот поширення ультразвукової хвилі, яка однозначно пов'язана з швидкістю плинного середовища, при якій визначається останній дифракційний максимум ближньої зони.

5. Результати дослідження залежності частоти УЗ коливань від швидкості потоку

Проведено моделювання запропонованої математичної моделі в середовищі MatLab. Вхідні параметри моделювання наступні: $\alpha = 60^\circ$, $f = 190\text{--}215$ кГц, $D = 0,025$ м, $V_{узх} = 340$ м/с, $V = 0\text{--}20$ м/с, $a = 0,005$ м.

На рис. 4, а, б показані результати моделювання. З графіків видно, що при збільшенні частоти коливання ультразвукових променів швидкість потоку збільшується, якщо промені надсилаються за потоком. Відповідно, якщо промені надсилаються проти потоку, то зі збільшенням частоти швидкість потоку зменшується. Дані залежності носять лінійний характер і є дзеркальними, що дає можливість використати різницевий підхід.

ри моделювання наступні: $\alpha = 60^\circ$, $f = 190\text{--}215$ кГц, $D = 0,025$ м, $V_{узх} = 340$ м/с, $V = 0\text{--}20$ м/с, $a = 0,005$ м.

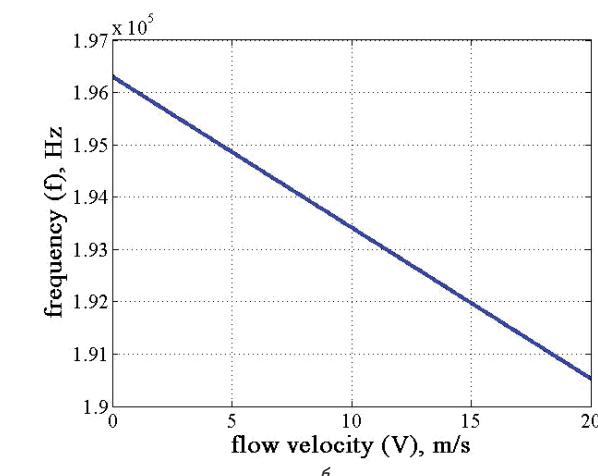
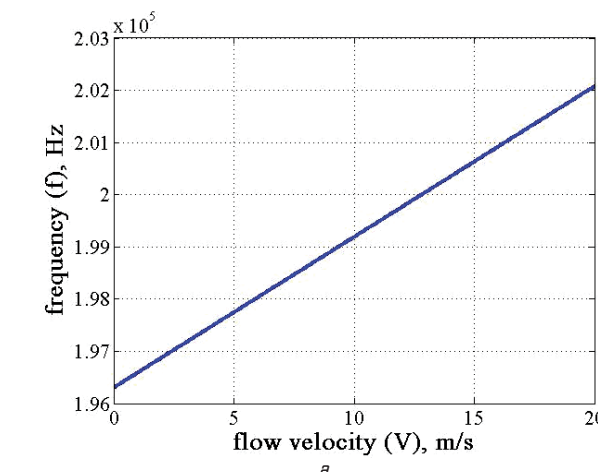


Рис. 4. Залежність швидкості потоку від частоти: а — за потоком; б — проти потоку

Дослідження різницевого варіанту просимульована з ідентичними вхідними параметрами. Залежність зміни різниці частот коливання ультразвукових хвиль за/проти потоку від швидкості потоку плинного середовища зображена на рис. 5. З графіка видно, що при збільшенні швидкості потоку різниця частот також збільшується за лінійною характеристикою, чутливість вища в порівнянні з часово-імпульсним ультразвуковим методом і становить 577,35 Гц/м/с, діапазон вимірювання залежить від параметрів ультразвукових перетворювачів, а також діаметра трубопроводу. При цьому видно що загальна діапазон зміни частот лежить в межах стабільної роботи переважної більшості п'єзоперетворювачів.

Результати досліджень дають можливість стверджувати про його перспективність для практичного застосування [14].

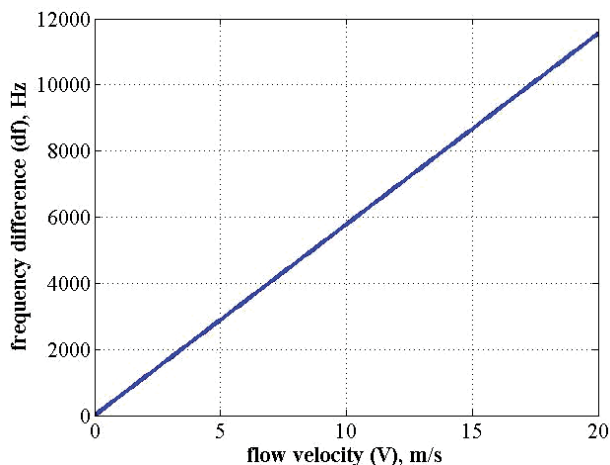


Рис. 5. Залежність швидкості потоку від різниці частот

6. Обговорення результатів дослідження залежності частоти ультразвукових коливань від швидкості потоку плинного середовища

На основі запропонованої моделі розроблено структурну схему вимірювача швидкості потоку, яка наведена на рис. 6.

Ультразвуковий вимірювач швидкості потоку рідких і/або газоподібних середовищ працює наступним чином. Ультразвукові коливання, які поширюються за потоком або проти потоку, виробляються і приймаються електроакустичними перетворювачами 2, 3. Частоту збудження їх забезпечує генератор змінної частоти 7. Дані коливання аналізуються за амплітудою за допомогою компаратора 11 і реєструються пікові значення амплітуди за допомогою контролера 5 в даний момент часу і в попередній. При незмінній швидкості потоку генератор змінної частоти 7 налаштований на частоту, що відповідає останньому максимуму ультразвукової хвилі. При зміні швидкості потоку зменшується амплітуда вихідного сигналу, що призводить до переналаштування частоти генератор 7.

При досягненні частоти ультразвукових хвиль, що відповідає максимальній амплітуді реєструється значення частоти, за яким і розраховують швидкість потоку, а отже й витрату середовища, яке протікає по трубопроводу [15].

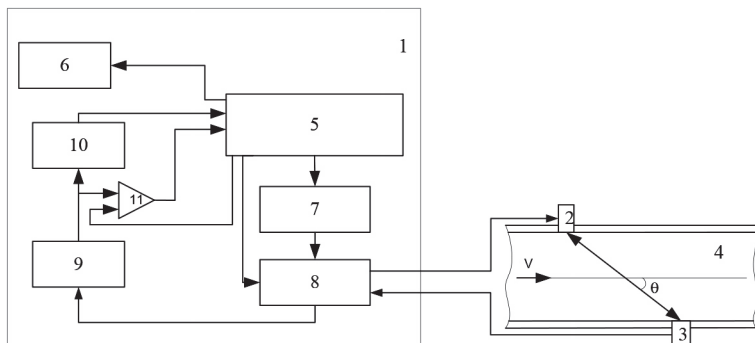


Рис. 6. Схема ультразвукового вимірювача швидкості потоку: 1 — блок формування та аналізу електричних імпульсів; 2 та 3 — електроакустичні перетворювачі; 4 — вимірювальна ділянка трубопроводу; 5 — контролер; 6 — індикатор; 7 — генератор змінної частоти; 8 — комутатор; 9 — підсилювач; 10 — АЦП та 11 — компаратор

Таким чином можна стверджувати, що запропонований метод вимірювання швидкості плинних середовищ має суттєві переваги в порівнянні з відомими, оскільки не використовує імпульсні сигнали, являється менш інерційним і більш завадозахищеним за рахунок використання власної частоти п'єзоелементів.

7. Висновки

Проведено аналіз основних ультразвукових методів та засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ та запропоновано математичну модель поширення ультразвукової хвилі в плинному середовищі та ультразвуковий метод вимірювання швидкості плинних середовищ на її основі.

Дослідження фізики процесу формування звукової хвилі в п'єзоелементах дозволило виявити залежність частоти УЗК від швидкості потоку, що, в свою чергу дало змогу, завдяки новому підходу, розробити засіб вимірювання швидкості потоку, а також на його основі запропонувати в подальшому перспективні витратоміри рідких і/або газоподібних середовищ.

Література

- Білінський, Й. Й. Аналіз методів і засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ та їхня класифікація [Електронний ресурс] / Й. Й. Білінський, М. О. Стасюк, М. В. Гладішевський // Наукові праці ВНТУ. — 2015. — № 1. — Режим доступу: \www/URL: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3970/5732>
- Деревягин А. М. Новый способ измерения расхода природного газа ультразвуковым методом [Электронный ресурс] / А. М. Деревягин, А. С. Фомин, В. В. Козлов, Н. Ф. Столяр, А. Г. Лыков. — IGRC, 2008. — Режим доступу: \www/URL: <http://npovumpel.ru/files/pdf/hyperflow-us.pdf>
- Thompson, E. Fundamentals of multipath ultrasonic flow meters for gas measurement [Electronic resource] / Eric Thompson // American School of Gas Measurement Technology. — 2011. — Available at: \www/URL: <http://asgmt.com/wp-content/uploads/pdf-docs/2011/1/F05.pdf>
- Thompson, E. J. Two beam ultrasonic flow measurement [Text]: Ph. D. Thesis / E. J. Thompson. — University of London, 1978. — 409 p.
- Fischbacher, R. E. The ultrasonic flowmeter [Text] / R. E. Fischbacher // Trans. Instrum. Technol. — 1959. — Vol. 11. — P. 114–119.
- Fundamentals of Ultrasonic flow measurement for industrial applications [Electronic resource]. — Duisburg: KROHNE Messtechnik GmbH & Co. KG, 2000. — Available at: \www/URL: http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/HB_ULTRASONIC_e_144.pdf
- Three in One: Gas Meter Tariff Device Volume Corrector Product Information Ultrasonic Gas Meter ECOSONIC X12 [Electronic resource]. — RMA Mess-und Regeltechnik GmbH&Co.KG, 2012. — Available at: \www/URL: http://www.rma-armaturen.de/UserFiles/File/pdf/Ecosonic12_Prospekt_10-2012_EN_light.pdf
- Ultrasonic flowmeter USZ 08 [Electronic resource]. — Honeywell International Inc., 2010. — Available at: \www/URL: https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/notes/usz08_leaflet_i_en.pdf
- Q. Sonic Ultrasonic Gas Flow Meters [Electronic resource]. — Elster Instromet, 2009. — Available at: \www/URL: http://www.precisionpipeline.com/wp-content/uploads/2013/08/QSonic_Brochure_209.pdf
- Volume Flow Measuring Devices for Emission Monitoring and Process Measurement Technology [Electronic resource]. — SICK MAIHAK GmbH, 2008. — Available at: \www/URL: http://www.matrel.hr/files/po_flow_en_d09-01_8009584.pdf

11. Білінський, Й. Й. Ультразвуковий метод вимірювання швидкості плинних середовищ [Текст]: матеріали 1-ої Всеукраїнської науково-технічної конференції / Й. Й. Білінський, М. В. Гладішевський // Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення. — Житомир: ЖДТУ, 2015. — С. 53–54.
12. Крюков, И. И. О размере ближней зоны плоских ультразвуковых преобразователей, находящихся на одной оси [Текст] / И. И. Крюков // Акустический журнал. — 1995. — Т. 41, № 1. — С. 101–105.
13. The Ultrasonic Field [Electronic resource] / SignalProcessing. — Available at: \www/URL: http://www.signal-processing.com/us_field.html
14. Білінський, Й. Й. Ультразвуковий метод вимірювання швидкості плинних середовищ [Текст] / Й. Й. Білінський, М. В. Гладішевський // Всеукраїнська семінар-нарада «Облік природного газу та метрологія». — Рівне, 2015. — С. 13–14.
15. Ультразвуковий спосіб вимірювання витрат рідких і/або газоподібних середовищ [Текст]: Пат. 98518 Україна МПК G0FB 1/00 / Білінський Й. Й., Городецька О. С., Гладішевський М. В.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. — № U201413183; заявл.08.12.2014; публ. 27.04.2015, Бюл. № 8. — 5 с.

РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕКУЧЕЙ СРЕДЫ

В статье проведен краткий анализ основных ультразвуковых методов и средств контроля расхода жидких и газообразных сред. Предложено математическую модель распространения

ультразвуковой волны в текучей среде и ультразвуковой метод измерения скорости текучих сред на ее основе. Приведена структурная схема ультразвукового измерителя скорости потока на основе амплитудно-частотного метода.

Ключевые слова: расходомер, контроль расхода, ультразвук, скорость звука, частота, ближняя зона.

Білінський Йосип Йосипович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроніки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Україна, e-mail: yosyp.bilynsky@yandex.ru.

Гладішевський Микола Володимирович, провідний фахівець департаменту метрологічного контролю, Метрологічний центр Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України», Боярка, Україна, e-mail: mgladyshesvskyi@yahoo.com.

Билинский Иосиф Иосифович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроники и электротехники, Винницкий национальный технический университет, Украина. Гладышевский Николай Владимирович, ведущий специалист департамента метрологического контроля, Метрологический центр Национальной акционерной компании «Нафтогаз Украины», Боярка, Украина.

Bilynsky Yosyp, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, e-mail: yosyp.bilynsky@yandex.ru.

Gladyshevskiy Mykola, Metrological Center of National Joint-Stock company «Naftegaz of Ukraine», Boyarka, Ukraine, e-mail: mgladyshesvskyi@yahoo.com

УДК 622.36:621.316.938

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.46993

**Мнухин А. Г.,
Иорданов И. В.**

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

В работе показана возможность и намечены пути создания сверхбыстродействующей коммутационной аппаратуры, предназначенной для эксплуатации на угольных шахтах, опасных по газу или пыли, исключаящие поджигание взрывоопасной среды. Результатом внедрения таких устройств будет снижение аварийности на предприятиях угольной промышленности.

Ключевые слова: электроэнергия, электроснабжение, шахта, взрыв, отключение, очаг воспламенения, короткое замыкание, станция магнитная.

1. Введение

Обеспечение безопасности применения электро-энергии в системах электроснабжения взрывоопасных производств, и, в частности на шахтах, опасных по газу или пыли, традиционно во всем мире зиждется на реализации следующих двух технических направлений: выполнения комплекса регламентных работ по поддержанию в рабочем состоянии всего электрооборудования, и в первую очередь его электрической изоляции, а также отключения поврежденного элемента сети за минимально короткий срок. Такая концепция, вполне отвечающая проблеме обеспечения безопасности в электрических сетях общего назначения и формально перенесенная на системы электроснабжения взрыво-опасных производств, является в последнем случае явно недостаточной по следующим причинам.

Во-первых, вследствие объективных причин (мобильность горно-шахтного оборудования, высокая влажность и запыленность окружающей среды, сложность обслуживания электрооборудования на месте его эксплуатации и т. д.) добиться высококачественного стабильного безопасного функционирования систем электроснабжения на действующих шахтах пока не удастся. Во-вторых, отключение поврежденного элемента коммутационным аппаратом традиционного исполнения (воздушным, элегазовым, вакуумным) с учетом времени срабатывания токовой защиты происходит за время до 200 мс [1], в течение которого, в случае загазованности атмосферы в аварийной точке, неминуемо произойдет взрыв со всеми вытекающими отсюда последствиями [2]. Поэтому предельное время безопасного отключения электроэнергии с аварийного участка с соответствующими коэффициентами запаса будет составлять не более 300–400 микросекунд [3].