УДК 681.121:621.643.8

Й.Й. БІЛИНСЬКИЙ, М.В. ГЛАДИШЕВСЬКИЙ, В.Б. БУРДЕЙНИЙ
Вінницький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ ПЛИННИХ СЕРЕДОВИЩ

В роботі розроблено структурну та електричну принципову схему ультразвукового амплітудно-частотного витратоміра плинних середовищ. Проведено моделювання окремих блоків схеми та експериментальні дослідження.

Ключові слова: витрата, ультразвуковий витратомір, частота, амплітуда, ближня зона.

Y.Y. BILYNSKY, M.V. GLADYSHEVSKYI, V.B. BURDANY
Vinnytsia National Technical University

MODELING OF ULTRASONIC MEAN OF MEASUREMENT CONTROL FOR FLOW RATE OF FLOWING MEDIUM

The aim of this work is to prove the reliability of proposed ultrasonic method of flowing medium flow rate measurement by means of modeling of measuring transducer that implements this method. In article [18] described new proposed amplitude-frequency method for flow rate measurement of flowing medium, which is based on dependency between frequency of acoustic wave from propagation speed of ultrasonic wave at maximum amplitude of output signal in near zone range of ultrasonic transducer. For the proposed method implementation a block schematic diagram was developed for ultrasonic amplitude-frequency flow meter. Then, electrical diagram was developed based on the block schematic diagram. After, in order to prove reliability of developed diagrams for proposed new ultrasonic amplitude-frequency flow meter, simulation of measuring transducer was performed for different inlet parameters. Such simulation and modeling procedures have allowed to confirm the performance of ultrasonic mean of measurement control for flow rate of flowing medium.

Keywords: flow rate, ultrasonic flow meter, frequency, amplitude, near zone.

Вступ

Протягом останніх років значно виросло використання ультразвукових витратомірів для комерційного обліку природного газу. Різноманітність технологічних умов використання витратомірів, підвищення вимог щодо їх точності та надійності зумовило розроблення нових методів і засобів на їх основі. На сьогодні майже на кожному об’єкті газотранспортної та газорозподільчої мережі використовується технологія ультразвукового вимірювання, а також вимірювального контролю витрат для комерційних та технічних потреб.

Проведений аналіз існуючих методів і засобів ультразвукового вимірювання витрат плинних середовищ [1–10] показує, що найбільш широкого застосовані витратоміри мають ряд недоліків пов’язаних з залежністю швидкості звуку від густини вимірювального середовища, наявністю мертвої зони при невеликому діаметрі газопроводу, що вимагає додаткові конструктивні рішення, показника адіабати тощо [11–17]. Тому на сьогодні більша увага приділяється розробці нових або модифікації існуючих методів на основі впровадження мікропроцесорної обробки сигналів, що дає змогу будувати витратоміри з високими метрологічними характеристиками та широкою сферою застосування. Правильність вибраних принципів роботи вимірювальних перетворювачів та їх побудови необхідно перевірити в першу чергу шляхом математичного та віртуального моделювання.

Метою роботи є проведення моделювання роботи ультразвукового засобу вимірювального контролю витрати плинних середовищ на основі запропонованого амплітудно-частотного методу вимірювання.

Експериментальна частина

В роботі [18] описано запропонований амплітудно-частотний метод вимірювання швидкості плинних середовищ, в основі якого лежить залежність частоти акустичного сигналу від швидкості поширення ультразвукової хвилі при максимальній амплітуді вихідного сигналу в межах ближньої зони ультразвукового перетворювача [19].

Частота ультразвукового сигналу при максимальному значенню амплітуди за потоком визначається як:

$$f = \frac{D\left(V_{узх} + V\cos\alpha\right)}{a^2 \sin\alpha} \tag{1}$$

де D – діаметр трубопроводу;
V – швидкість потоку;
a – радіус випромінювача;
$V_{узх}$ – швидкість звуку.
α – кут між напрямком поширення ультразвукової хвилі та газовим потоком.

Тоді витрати плинного середовища в такому випадку визначаються так:

$$Q = 0,25\pi\Delta f D V a^2 tg\alpha \quad (2)$$

На рис. 1 схематично показано поширення ультразвукової хвилі в ультразвуковому перетворювачі

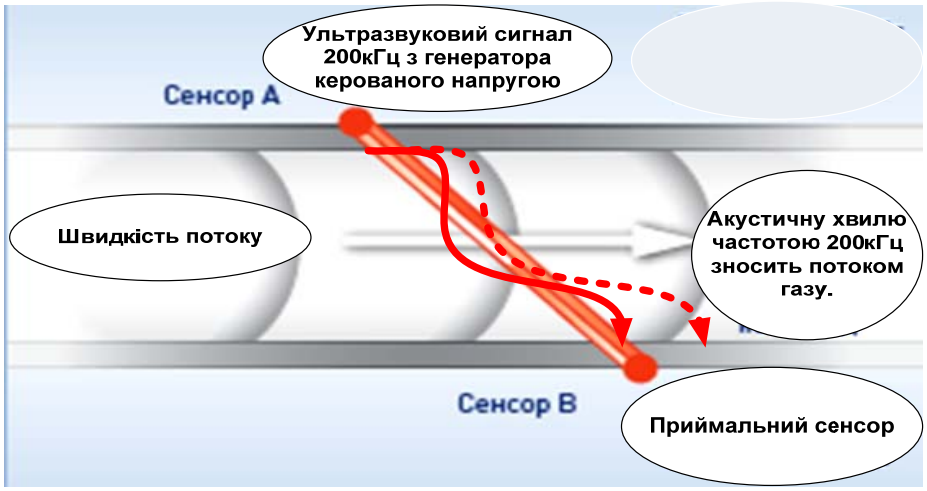

Рис. 1. Загальна схема принципу роботи ультразвукового витратоміру

Ультразвуковий сигнал проходить по діагоналі від одного п'єзоелемента до іншого й при певній його частоті, що відповідає швидкості потоку, амплітуда сигналу буде максимальною, оскільки такий стан відповідає умові ближньої зони. При зміні швидкості потоку зменшується амплітуда. Для відновлення максимального значення амплітуди необхідно змінити частоту сигналу у відповідності до умови ближньої зони. Отримане значення частоти відповідатиме швидкості потоку плинного середовищ згідно з (1).

Для реалізації запропонованого методу розроблена структурна схема ультразвукового амплітудно-частотного витратоміра, вимірювальний канал якого показаний на рис. 2.

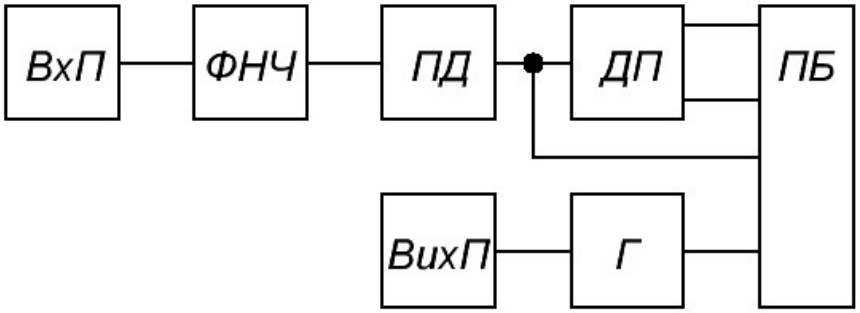

Рис. 2. Структурна схема вимірювального каналу ультразвукового амплітудно-частотного витратоміра

Сигнал з п'єзоприймача поступає на вхід вхідного підсилювача (ВхП), далі підсилений сигнал поступає на вхід фільтра нижніх частот (ФНЧ), а далі – на вхід пікового детектора (ПД), амплітудне значення якого вимірюється та записується мікропроцесорним блоком (ПБ). Для підвищення точності вимірювання використовується диференційний підсилювач (ДП). Частота генератора (Г) задається мікропроцесорним блоком, сигнал з генератора підсилюється вихідним підсилювачем (ВихП) та надходить на п'єзоелектричний передавач.

В роботі особливу увагу приділено фільтрації сигналів, оскільки один із інформативних параметрів засобу є амплітуда.

На базі структурної схеми розроблено електричну принципову схему ультразвукового амплітудно-частотного витратоміра , яка показана на рис. 3.

Вхідний підсилювач виконано на операційному підсилювачі DA1.1, резистором R2 встановлюється коефіцієнт підсилення. Фільтр нижніх частот побудований по схемі активного фільтра Баттерворта шостого порядку на операційних підсилювачах DA1.2 та DA3. Піковий детектор зібраний за класичною схемою на операційному підсилювачі DA4 з використанням польового транзистора для розрядки накопичувального конденсатора. Диференційний підсилювач зібраний на операційному підсилювачі DA2.1.

Мікропроцесорний блок складається із мікроконтролера STM32F103RCT6, що має вбудовані АЦП та ЦАП та мікросхему Flash пам'яті AT25SF041. Мікропроцесорний блок має вихід USB та UART для введення та виведення інформації. Мікросхема Flash пам'яті використовується для автономного збереження інформації про витрату газу. В якості генератора використовується цифровий генератор AD9837 з кроком переналаштування частоти 0,06 Гц.

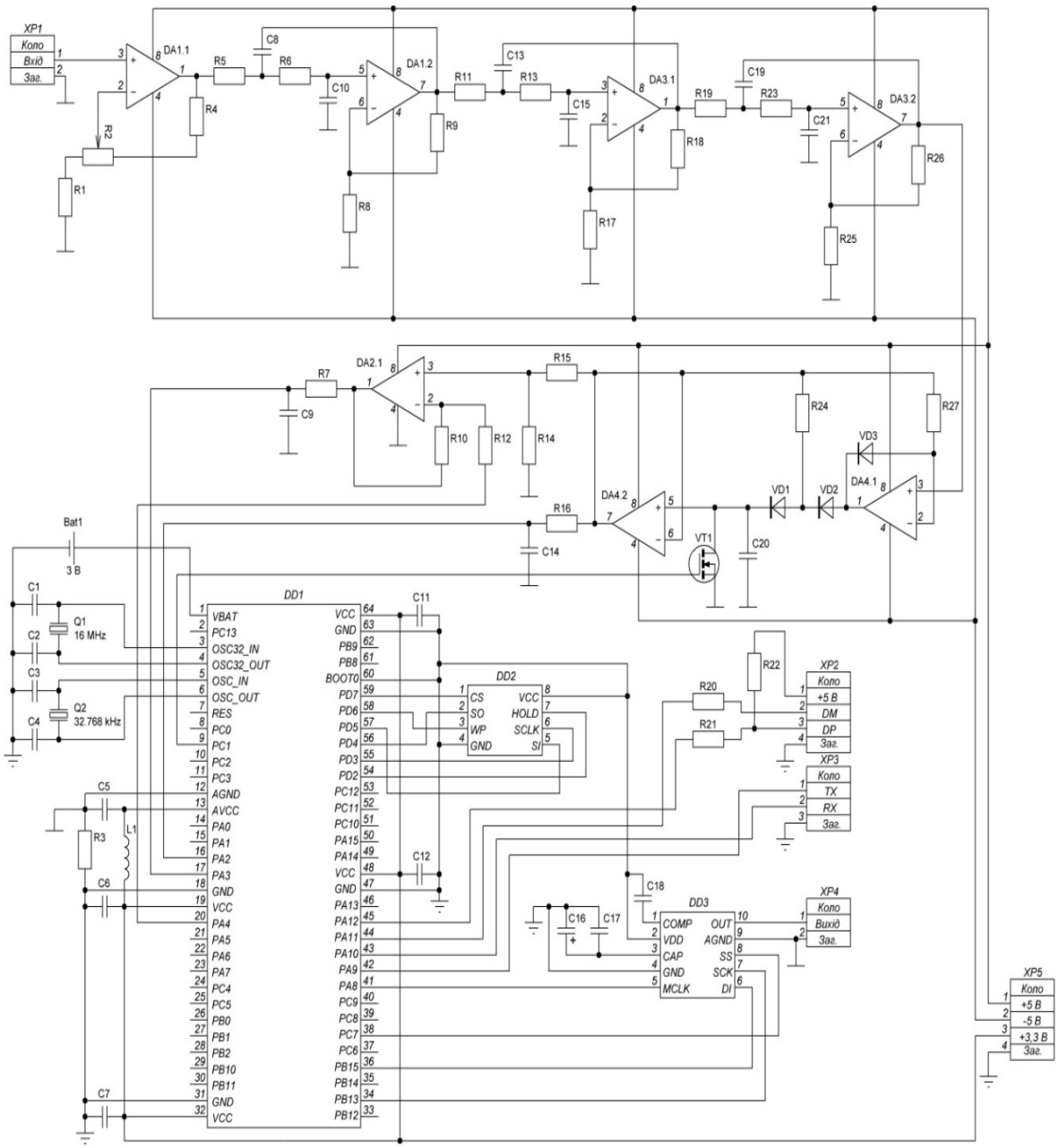

Рис. 3. Структурна схема ультразвукового амплітудно-частотного витратоміра

Для підтвердження роботи засобу вимірювання необхідно дати відповідь на ряд питань, відповіді на які можна отримати шляхом проведення моделювання роботи відповідних блоків вимірювального перетворювача.

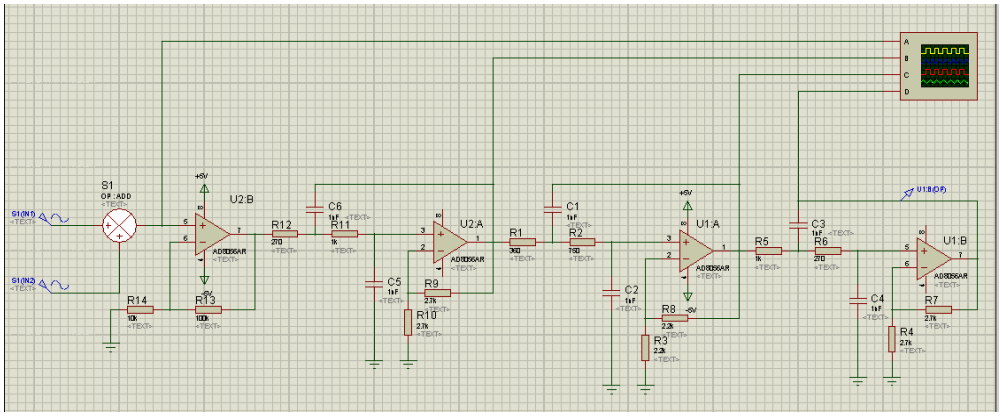

Рис. 4. Схема моделювання роботи фільтра Баттерворта шостого порядку на операційному підсилювачі AD8056AR

Фільтр нижніх частот виконаний на основі фільтра Баттерворта. На рис. 4 показано схему моделювання фільтра Баттерворта шостого порядку в середовищі ISIS Proteus 7.7.

Необхідність використання фільтра нижніх частот зумовлено наявністю шуму на виході п'єзоприймача, Для цього використано два генератора, перший із яких формує несучу частоту сигналу, а другий – шум.

Моделювання фільтра проведено для несучого сигналу з частотою 200 кГц та амплітудою 18 мВ, при шумові з частотою 1,2 МГц та амплітудою 10 мВ. Результат моделювання подано на рис. 5. Вхідний (зашумлений) сигнал відображено в масштабі 10 мВ на одну поділку, вихідний сигнал – у масштабі 1 В на одну поділку.

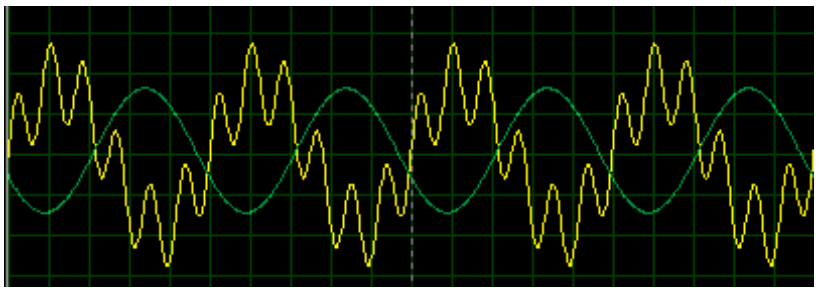

Рис. 5. Результат моделювання у середовищі ISIS Proteus 7.7 для несучого сигналу з частотою 200 кГц та амплітудою 18 мВ, при шумові з частотою 1,2 МГц та амплітудою 10 мВ

Як видно з рисунка фільтр чудово «зрізає високочастотний сигнал, який має амплітуду близьку за значенням до амплітуди несучого сигналу, що є вагомим результатом, при роботі зі слабкими сигналами. Крім цього проведено повторне дослідження роботи фільтра з частотою шуму 3 МГц і амплітудою 5 мВ. Значення параметрів несучого сигналу залишено незмінними. На рис. 6 показано результати моделювання. Вхідний (зашумлений) сигнал відображено в масштабі 10 мВ на поділку. Вихідний сигнал відображено у масштабі 1 В на поділку. Як видно з рисунка результати моделювання є позитивним. Фільтр справляється з о високочастотним сигналом, амплітудою якого 5 мВ.

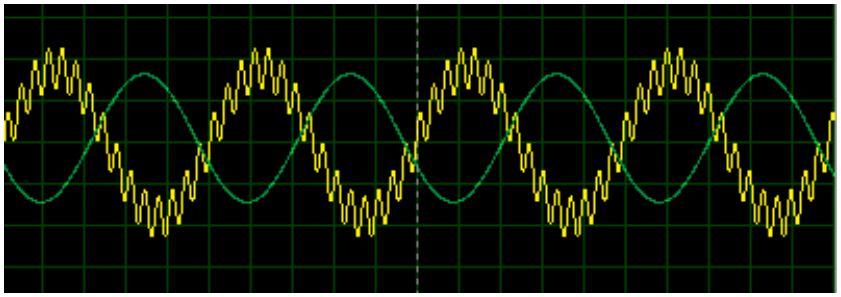

Рис. 6. Результат моделювання у середовищі ISIS Proteus 7.7 для несучого сигналу з частотою 200 кГц та амплітудою 18 мВ, при шумові з частотою 3 МГц та амплітудою 5 мВ

Для підтвердження отриманого результату проведено експериментальні дослідження фільтра з використанням двох генераторів. У якості змішувача використано BNC з'єднувач-розвилка, до якого підключено через послідовно ввімкнений опір 500 Ом кожен з генераторів. З виходу «змішувача» сигнал подається на вхід підсилювача. Осцилограму роботи схеми показано на рис. 7.

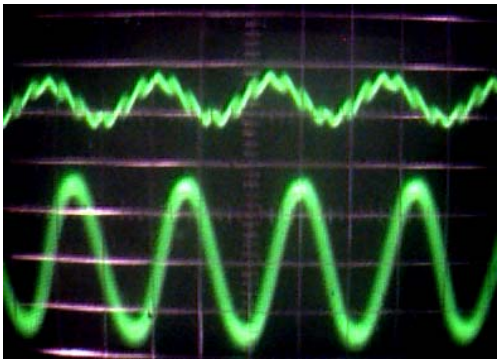

Рис. 7. Фільтрація та підсилення суміщеного сигналу з частотою 200 кГц та амплітудою 18 мВ, при шумові з частотою 1,2 МГц та амплітудою 10 мВ

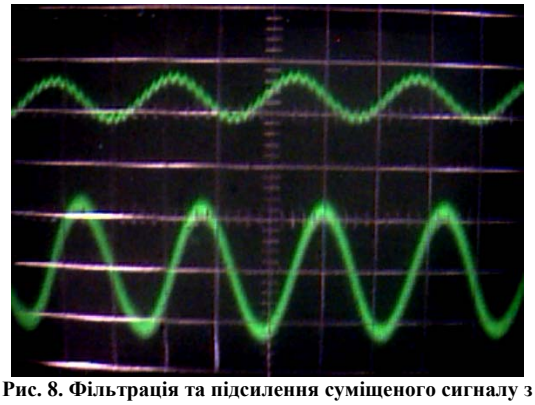

Рис. 8. Фільтрація та підсилення суміщеного сигналу з частотою 200 кГц та амплітудою 18 мВ, при шумові з частотою 3 МГц та амплітудою 5 мВ

Виходячи з аналізу осцилограми , яку показано можна стверджувати, про ефективність роботи

фільтра та підсилювача.

Для підтвердження віртуального моделювання, проведено практичний дослід з тими ж параметрами вхідного сигналу (рис. 8).

В осцилографа на який подано сигнал до фільтрації та підсилення, тобто верхня частина осцилограми (рис. 8), було виставлено масштаб 0,05 В на поділку, а по каналу А осцилографа, на який подано сигнал після підсилення та фільтрації, тобто нижня частина осцилограми (рис. 8), було виставлено масштаб 1 В на поділку.

Висновки

В роботі запропоновано структурну та електричну принципові схеми ультразвукового засобу вимірювання швидкості плинних середовищ. Проведено моделювання окремих блоків схеми та експериментальні дослідження й, таким чином, підтверджено працездатність запропонованого методу вимірювання витрат плинних середовищ.

Література

1. J. Drenthen, “The manufacturing of ultrasonic gas flow meters”, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 12 (Issue 2), 2001 pp. 89–99.

2. P. Brassiera, “High-frequency transducers and correlation method to enhance ultrasonic gas flow metering”, Flow Measurement and Instrumentation Volume 12 (Issue 3), 2001 pp. 201–211.

3. R. Miller, “Flow measurement engineering handbook”, Research Triangle Park, NC: Instrument Society of America, 1983.

4. F. Cascetta, “Field test of a swirlmeter for gas flow measurement”, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 10 (Issue 3), 1999 pp. 183–188.

5. Skeaa, “Effects of gas leaks in oil flow on single-phase flowmeters”, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 10 (Issue 3), 1999 pp. 145–150.

6. von Jena, “Ultrasound gas-flow meter for household application”, Sensors and Actuators Physical, Volumes 37–38, 1993 pp. 135–140.

7. R. Moletta, “A gas meter for low rates of gas flow”, Biotechnology Letters, Volume 4 (Issue 5), 1982 pp. 319–322.

8. Arthur, “Effect of Gas Density on Resistance to Respiratory Gas Flow in Man.”, Journal of Applied Physiology Volume 2 (Issue 6), 1949 pp. 300–306.

9. H. Murakawa, “Application of ultrasonic doppler method for bubbly flow measurement using two ultrasonic frequencies”, Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 29 (Issue 7), 2005 pp. 843–850.

10. G. Zheng, “Gas–liquid two phase flow measurement method based on combination instrument of turbine flowmeter and conductance sensor”, International Journal of Multiphase Flow, Volume 34 (Issue 11), 2008, pp. 1031–1047.

11. R. Abernethy, “Measurement Uncertainty”, ASME, Volume 107 (Issue 2), 1985 pp. 161–164.

12. Marić. “The Joule–Thomson effect in natural gas flowrate measurements”, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 16 (Issue 6), 2005 pp. 387–395.

13. K. Kawashima, “Instantaneous Flow Rate Measurement of Ideal Gases”, ASME, Volume 122 (Issue 1), 1996 pp. 174–178.

14. H. Dane, “Ultrasonic measurement of unsteady gas flow”, Flow Measurement and Instrumentation Volume 8 (Issues 3–4), 1998 pp. 183–190.

15. W. Lee, “Gas Turbine Flowmeter Measurement of Pulsating Flow”, ASME, Volume 97 (Issue 4), pp. 531–539.

16. K. Brun, “Measurement Uncertainties Encountered During Gas Turbine Driven Compressor Field Testing”, ASME, Volume 3, 1998 pp. 3–13.

17. J. Berrebi, “Reducing the flow measurement error caused by pulsations in flows”, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 15 (Issues 5–6), 2004 pp. 311–315.

18. Білинський Й.Й. Новий ультразвуковий метод вимірювання витрат плинних середовищ / Й. Й. Білинський, М. В. Гладишевський // Нафтогазова галузь України. – 2016. – № 2. – С. 35–39.

19. Крюков И.И. О раз мере ближней зоны плоских ультразвуковых преобразователей, находящихся на одной оси / И.И. Крюков // Акустический журнал. – 1995. – Том 41, № 1. – С. 101–105.

Рецензія/Peer review : 28.1.2017 р. Надрукована/Printed :8.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кичак В.М.