

УДК 681.121

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА ПРИ ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ЗА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНОЮ ЦІННІСТЮ

В.В. Малісевич, О.Є. Середюк*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, feivt@nuing.edu.ua*

Розроблено принципову схему лабораторного стенду та його технічне рішення для проведення експериментальних досліджень функціонування термоанемометричного витратоміра. Наведено результати експериментальних досліджень функції перетворення витратоміра при роботі на природному газі, пропан-бутановій суміші і повітрі, які підтверджують можливість використання термоанемометричного витратоміра для обліку енергетичної цінності плинних потоків природного газу. Проведені дослідження також відкривають шляхи використання термоанемометричного витратоміра як газоаналізатора при контролі якісних характеристик природного газу у газових мережах газопостачальних та газотранспортних організацій.

Ключові слова: природний газ, лабораторний стенд, термоанемометричний витратомір, облік, енергетична цінність, експериментальне дослідження.

Разработана принципиальная схема лабораторного стенда и его техническое решение для проведения экспериментальных исследований функционирования термоанемометрического расходомера. Приведены результаты экспериментальных исследований функции преобразования расходомера при работе на природном газе, пропан-бутановой смеси и воздухе, которые подтверждают возможность использования термоанемометрического расходомера для учета энергетической ценности текучих потоков природного газа. Проведенные исследования также открывают пути использования термоанемометрического расходомера как газоанализатора при контроле качественных характеристик природного газа в газовых сетях газоснабжающих и газотранспортных организаций.

Ключевые слова: природный газ, лабораторный стенд, термоанемометрический расходомер, учет, энергетическая ценность, экспериментальное исследование.

The schematic diagram of the laboratory stand and its technical solution for experimental studies of the functioning of the thermometer anemometer flowmeter are developed. The results of experimental studies of the transformation function of the flowmeter when operating on natural gas, propane-butane mixture and the air, which confirm the possibility of using the thermometer anemometer flowmeter for metering the energy value of natural gas flow are given. Realized studies also reveal ways of using thermometer anemometer flowmeter as a gas analyzer under the control of the quality characteristics of natural gas in gas networks of gas supply and gas transportation organizations.

Keywords: natural gas, laboratory stand termoanemometrychnyy flow, accounting, energy value, experimental research.

Постановка проблеми. З урахуванням необхідності вирішення важливих завдань енергоощадності дедалі актуальнішим у газовій галузі стає питання визначення не тільки об'єму чи об'ємної витрати природного газу, але і цих параметрів у сукупності з енергетичними характеристиками природного газу, насамперед теплою згорання. Як відомо, вона залежить від компонентного складу природного газу, який залежить від характеристик газового родовища, способу і джерел формування

газових потоків. З урахуванням того, що в практиці США та країн Євросоюзу розрахунок за спожитий газ здійснюється з урахуванням його енергетичної цінності [1], очевидним є практичне застосування таких підходів до розв'язання проблемних завдань з обліку природного газу в Україні, що є одним із напрямків вирішення питань енергозбереження.

Сучасний підхід до обліку природного газу повинен бути спрямований на здійснення його вимірювання з урахуванням енергетичної

цінності [2, 3] та запровадження розрахунків за спожитий газ не тільки за об'ємом, а й за кількістю енергії в ньому. Використовуючи такий підхід до обліку витрати природного газу можна не лише обґрунтувати рівень установленої на нього ціни, але і сприяти збереженню енергоресурсів країни.

Аналіз літературних джерел показав, що на даний час облік природного газу здійснюють переважно за допомогою роторних чи турбінних лічильників або інформаційно-вимірвальних систем на базі звужувальних пристроїв без урахування калорійності газу [4, 5]. Контроль теплоти згорання палива при цьому здійснюють газотранспортні і газопостачальні організації з метою недопущення відхилень параметрів за допустимі межі. Для цього застосовується розрахунковий метод на базі газової хроматографії, що потребує достатньо тривалого часу для отримання результату і є дороговартісною процедурою.

Один із нових методів експрес-контролю енергетичної цінності природного газу [6] стосується тільки визначення якісних характеристик природного газу як окремого інформативного параметра у інформаційно-вимірвальних системах обліку природного газу. Відомими також є нові дослідження щодо контролю енерговмісту, які на даний час знаходяться на стадії експериментальної апробації [7].

Здійснювати діагностування лічильників та витратомірів з урахуванням енергетичних характеристик природного газу можна за допомогою запропонованого авторами напірного витратоміра [8] з використанням термоанемометричного перетворювача, який слугує перетворювачем теплофізичних властивостей природного газу і перетворювачем витрати потоку газу. Це дозволяє при вимірюванні витрати природного газу опосередковано визначати його теплофізичні властивості, що, в свою чергу, залежать від компонентного складу газу.

Функцією передавання термоанемометричного витратоміра є залежність вихідного сигналу, наприклад, напруги від об'ємної витрати за різних параметрів робочого середовища, його якісних характеристик з урахуванням конкретного конструктивного виконання.

Згідно чинного в Україні міжнародного стандарту [3] енергетичну цінність потоку природного газу можна визначити за формулою:

$$E = q \cdot H, \quad (1)$$

де q – об'ємна витрата; H – нижча теплота згорання природного газу.

Для апробації функціонування термоанемометричного витратоміра необхідно здійснити експериментальну перевірку його математичних моделей [9].

Метою роботи є експериментальні дослідження термоанемометричного витратоміра при здійсненні обліку природного газу за його енергетичною цінністю.

Виклад основного матеріалу. Для проведення експериментальних досліджень розроблений лабораторний стенд (рис. 1), до складу якого входять: вхідний патрубок 1 для під'єднання до газової мережі, балон 2 з пропан-бутановою сумішшю, джерело витрати повітря 3, задавачі витрати робочого середовища 4, 5, 6, теплообмінник 7, термоанемометричний витратомір 9 з термоанемометричним перетворювачем 8, еталонний лічильник 10 об'єму робочого середовища, задавач тиску 11 робочого середовища, випускний патрубок 12 та мікропроцесорний блок 13. Дані про тиск p , температуру T робочого середовища і напругу вихідного сигналу термоанемометричного перетворювача U надходять до мікропроцесорного блоку.

Для проведення експериментальних досліджень розроблений лабораторний стенд (рис. 2), який забезпечує максимальну витрату робочого середовища $2,45 \text{ м}^3/\text{год}$ при надлишковому тиску до $2,5 \text{ кПа}$. Крім того конструкція стенду дозволяє використовувати різні робочі середовища у процесі проведення досліджень.

Стенд містить вхідний патрубок 1 для під'єднання джерела витрати повітря, задавач витрати 2 повітря, задавач витрати 3 природного газу або пропан-бутанової суміші, вхідний патрубок 4 під'єднання джерела витрати природного газу або пропан-бутанової суміші, мікропроцесорний блок 5, блок вимірювання температури 6, імпульсну лінію 7 відбору тиску з давачем надлишкового тиску, термоанемометричний перетворювач 8, лічильник газу 9 (індивідуально калібрований), задавач тиску 10, вихідний патрубок 11, блок опрацювання інформації термоанемометричного перетворювача 12.

Задавачі витрати 4, 5, 6 та тиску 11 дозволяють задавати різні витрати та тиск у процесі проведення експериментальних досліджень, що забезпечує можливість встановлення потрібних режимів потоку робочого середовища.

Вимірювання температури робочого

середовища у вимірювальній ділянці стенду відбувається завдяки використанню цифрового давача температури LM92 фірми Texas Instruments [10]. Абсолютний тиск робочого середовища вимірюється за допомогою перетворювача тиску MPXV4006 виробництва фірми Freescale Semiconductor [11]. Дані про тиск і температуру у трубопроводі виводяться на символний рідкокристалічний дисплей мікропроцесорного блоку 5 шляхом використання мікропроцесора ATMEGA8 виробництва фірми Atmel [12].

В лабораторному стенді використано термоанемометричний перетворювач D6F-V03A1 фірми Omron [13]. Для його електричного живлення використовується стабілізоване за напругою 10 В джерело живлення. Напряга вихідного сигналу термоанемометричного перетворювача вимірюється за допомогою цифрового осцилографа Siglent SDS 2500 U, під'єднаного до мікропроцесорного блоку 5.

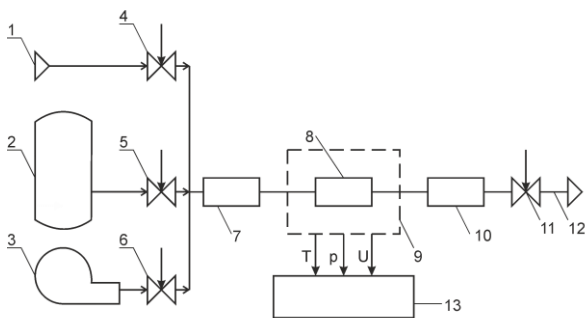


Рисунок 1 – Схема лабораторного стенду для експериментальних досліджень термоанемометричного витратоміра

Методика проведення експериментальних досліджень передбачає використання трьох видів робочих середовищ: природний газ, пропан-бутанова суміш і повітря. Джерелом природного газу є будинкова газова мережа, до якої через вхідний патрубок 4 (рис. 2) під'єднують лабораторний стенд. Природний газ через задавач витрати 3 потрапляє у вимірювальну ділянку лабораторного стенду. При функціонуванні стенду на пропан-бутановій суміші вона подається у пароподібному стані до вимірювального трубопроводу з балона зі скрапленим газом "Пропан-бутаном" через задавач витрати. Стенд дозволяє також використовувати повітря як робоче середовище від джерела витрати повітря (повітрорудка), який через задавач витрати 2

з'єднано з вимірювальною ділянкою стенда. При функціонуванні стенда індивідуально калібрований лічильник 10 виконує роль еталонного засобу вимірювання об'єму, а наявність хронометра в блоці 5 дозволяє визначати витрату газу у вимірювальній ділянці.

Суміш газів пропану і бутану в балоні знаходиться у скрапленому стані. Тому для проведення експериментальних досліджень на пропан-бутановій суміші необхідно попередньо розраховувати об'єм газу, що утвориться при виході його у вимірювальну ділянку, де робочий тиск є близьким до атмосферного. Згідно стандарту [14] балон об'ємом 50 л повинен бути заправлений газовою сумішшю масою, яка не перевищує 21,2 кг. Нормативний документ [15] регламентує наявність однакових за масою компонент пропану і бутану в складі суміші газів у балоні. Тому можна вважати, що маса кожної з компонент газу в балоні становить 10,6 кг. Виходячи з рівності маси газу в балоні і маси газу, що потрапляє у вимірювальну ділянку, враховуючи при цьому зміну їх агрегатного стану і, відповідно, їх густини, об'єм V генерованої газоподібної суміші "Пропан-бутану" можна обчислити за відомою формулою:

$$V = \frac{m_{\text{П}}}{\rho_{\text{П}}} + \frac{m_{\text{Б}}}{\rho_{\text{Б}}}, \quad (2)$$

де $m_{\text{П}}$, $m_{\text{Б}}$ – маса пропану і бутану в балоні, відповідно; $\rho_{\text{П}}$, $\rho_{\text{Б}}$ – густина пропану і бутану за стандартних умов, відповідно. Враховуючи, що $\rho_{\text{П}}=2,019$ кг/м³, а $\rho_{\text{Б}}= 2,703$ кг/м³ [16], після підстановки даних у (2) отримаємо, що газ при витіканні з балона у вимірювальну ділянку при стандартних умовах буде займати об'єм 9,17 м³. Це дає можливість розраховувати технічні характеристики стенда, зокрема щодо відтворюваних об'ємів і витрати пропан-бутанової суміші.

Для апробації конструктивного рішення термоанемометричного витратоміра, яке запропоноване авторами в [17], спочатку було проведено експериментальні дослідження роботи термоанемометричного витратоміра за відсутності потоку робочого середовища. При цьому надлишковий тиск робочого середовища був 100 Па, а його температура змінювалася в межах від 3 до 25°C. З результатів експерименту (рис. 3) видно нелінійний вплив зміни температури робочого середовища на функцію передавання термоанемометричного витратоміра. При цьому зміна виду робочого середовища приводить до зміни чутливості функції передавання від зміни температури. Так,

наприклад, зміна температури пропан-бутанової суміші на 10 °С приводить до зміни напруги вихідного сигналу на 23 мВ, тоді як така ж зміна температури природного газу приводить до зміни напруги вихідного сигналу витратоміра лише на 1,5 мВ.

Далі проводилися експериментальні дослідження при рухомому робочому середовищі. Для цього спочатку відкривали вихідний вентиль 10, за допомогою якого можна регулювати тиск робочого середовища. Далі, вибравши потрібне робоче середовище, відкривали відповідний вхідний вентиль доки не досягали такої максимальної швидкості потоку для термоанемометричного перетворювача, щоб напруга його вихідного сигналу була нижчою 2,0 В. Потім, закриваючи вентиль 10, піднімали надлишковий тиск робочого середовища до потрібного значення. Знявши дані про витрату, надлишковий тиск, температуру та напругу на виході термоанемометричного перетворювача, закривали вхідний вентиль, доти доки вихідна напруга термоанемометричного перетворювача не зменшилася на 200-300 мВ. Далі знову, закриваючи вентиль 10, добивалися необхідного значення надлишкового тиску в трубопроводі і знімали дані. Для кожного значення надлишкового тиску було зроблено по 6-7 експериментів. Витрату робочого середовища при цьому розраховували за показами лічильника, вимірюючи при цьому час експерименту за допомогою мікропроцесора.

Термоанемометричний перетворювач виконаний у корпусі з розмірами 24x13x8 мм і

встановлений в трубопроводі таким чином, що перебиває частину його поперечного перетину. Через це швидкість, яку він вимірює буде більшою, ніж середня швидкість в трубопроводі. Тому потрібно розрахувати швидкість робочого середовища через термоанемометричний перетворювач і врахувати її в експериментальних дослідженнях. Для цього запишемо вираз для визначення об'ємної витрати q робочого середовища в трубопроводі за робочих умов:

$$q = S_T v_T, \quad (3)$$

де S_T – повна площа поперечного перетину трубопроводу; v_T – швидкість робочого середовища в повному поперечному перетині трубопроводу.

Витрату q робочого середовища в трубопроводі з частково перекритим поперечним перетином термоанемометричним перетворювачем можна визначити за формулою:

$$q = S_T - S_{TA} + S_{TAP} v_{TA}, \quad (4)$$

де S_{TA} – площа поперечного перетину трубопроводу, частково перекрита термоанемометричним перетворювачем; S_{TAP} – площа поперечного перетину отвору термоанемометричного перетворювача; v_{TA} – швидкість робочого середовища, яке проходить через термоанемометричний перетворювач.

При цьому вважаємо, що швидкість через отвір в перетворювачі буде рівною швидкості потоку в перетині трубопроводу.

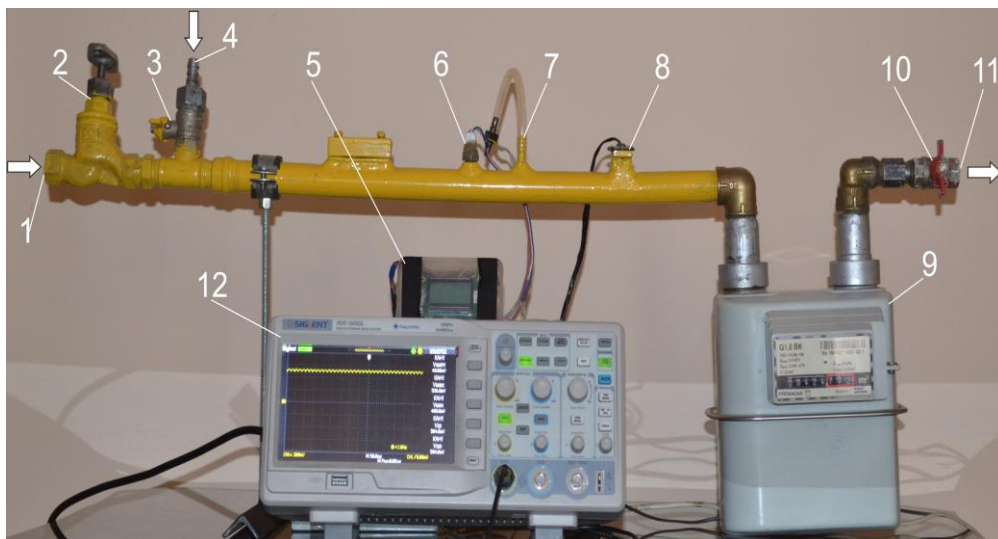


Рисунок 2 – Загальний вигляд вимірювальної ділянки лабораторного стану для експериментальних досліджень термоанемометричного витратоміра

Враховуючи, що $\rho_{II}=2,019 \text{ кг/м}^3$, а $\rho_B=2,703 \text{ кг/м}^3$ [16], після підстановки даних у (2) отримаємо, що газ при витіканні з балона у вимірювальну ділянку при стандартних умовах буде займати об'єм $9,17 \text{ м}^3$. Це дає можливість розраховувати технічні характеристики стенда, зокрема щодо відтворюваних об'ємів і витрати пропан-бутанової суміші.

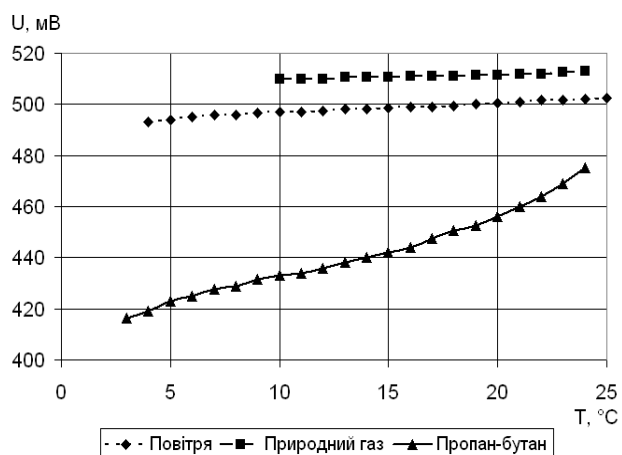


Рисунок 3 – Залежність вихідного сигналу термоанемометричного витратоміра від температури робочого середовища при відсутності потоку

Виходячи з рівності витрат робочого середовища в (3) - (4), запишемо вираз для визначення швидкості робочого середовища в термоанемометричному перетворювачі:

$$v_{TA} = \frac{S_T v_T}{S_T - S_{TA} + S_{TAP}} \quad (5)$$

З урахуванням того, що внутрішній діаметр трубопроводу рівний 17 мм, а термоанемометричний перетворювач занурений в трубопровід на глибину 9,5 мм, використовуючи закони геометричної подібності (рис. 4), отримаємо числові значення для площ поперечного перетину трубопроводу: $S_{TA}=111,66 \text{ мм}^2$, $S_T=226,87 \text{ мм}^2$. Оскільки площа отвору S_{TAP} , де розміщений термоанемометричний перетворювач є набагато меншою від площі $(S_T - S_{TA})$ поперечного перетину потоку при обтіканні термоанемометричного перетворювача (менше, ніж 1 %). Тому швидкість робочого середовища через термоанемометричний перетворювач після підстановки числових значень у (5) можна визначати за формулою:

$$v_{TA} = 1,97 v_T \quad (6)$$

Враховуючи те, що витрату q робочого середовища визначали при тиску та температурі, відмінних від стандартних, то її потрібно перерахувати до витрати q_C за стандартних умов за формулою:

$$q_C = q \frac{p T_C}{p_C T K}, \quad (7)$$

де p , T , p_C , T_C – тиск і температура робочого середовища за робочих і стандартних умов, відповідно; K – коефіцієнт стисливості робочого середовища.

Розраховане значення коефіцієнта стисливості для повітря за робочих умов стенду становило 0,9996, для пропан-бутанової газової суміші – 0,9993, а для природного газу – 0,9978.

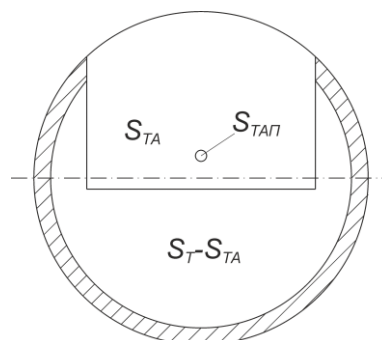
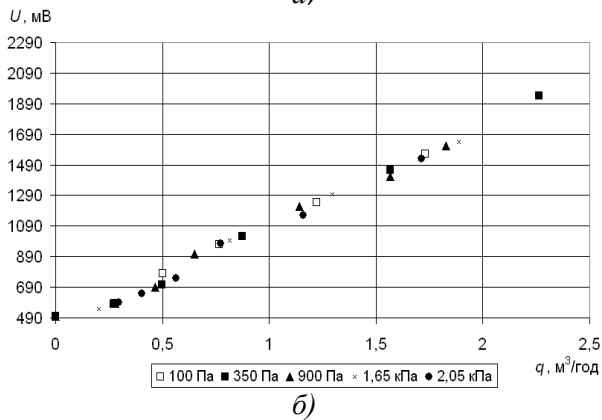
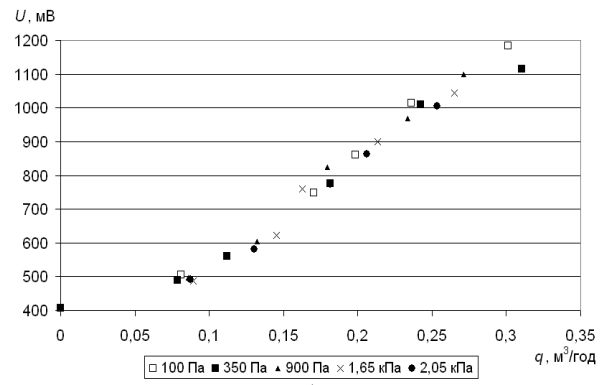
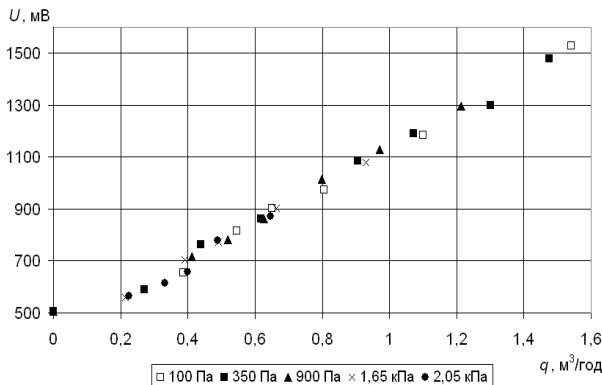


Рисунок 4 – Схематичне зображення визначення площ поперечного перетину трубопроводу в місці встановлення термоанемометричного перетворювача

З отриманих результатів експериментальних досліджень (рис. 5) видно нелінійний характер зміни вихідного сигналу від витрати робочого середовища, а також спостерігається неоднорова чутливість при використанні різних робочих середовищ. Особливо це яскраво виражено при порівнянні функцій передавання термоанемометричного перетворювача з використанням пропан-бутанової суміші та природного газу як робочих середовищ (рис. 5, а і рис. 5, в). Проаналізувавши дані досліджень, можна зробити висновок про необхідність індивідуального градування термоанемометричного перетворювача для різних видів робочих середовищ.

Шляхом регресійного аналізу отриманих експериментальних даних авторами запропоновано апроксимаційні залежності вихідного сигналу термоанемометричного перетворювача від витрати для надлишкових тисків 0,1 кПа; 0,9 кПа; 2,1 кПа при використанні природного газу, повітря та пропан-бутанової суміші як робочих середовищ (табл. 1).



а – для природного газу; б – для повітря; в – для пропан-бутанової суміші

Рисунок 5 – Залежності вихідного сигналу термоанемометричного витратоміра від витрати і надлишкового тиску для різних видів робочого середовища

Використовуючи програмне забезпечення MatLab, на основі отриманих експериментальних даних знайдено узагальнюючі апроксимаційні залежності вихідного сигналу витратоміра від витрати та надлишкового тиску робочого середовища типу $U(q, p)$ для різних

Таблиця 1 – Апроксимаційні залежності вихідного сигналу термоанемометричного витратоміра при використанні різних робочих середовищ для надлишкових тисків 0,1 кПа; 0,9 кПа; 2,1 кПа

Робоче середовище	Апроксимаційна залежність	Середнє квадратичне відхилення апроксимації, мВ
Природний газ	$U_{0,1} = -91,43q^3 + 307,5q^2 + 410,2q + 498,4$	34,78
	$U_{0,9} = -327,3q^3 + 722q^2 + 255,7q + 505,7$	9,123
	$U_{2,1} = -1927q^3 + 2578q^2 - 290,8q + 507,3$	26,05
Повітря	$U_{0,1} = -119,7q^3 + 316,4q^2 + 430,6q + 483,6$	38,46
	$U_{0,9} = -123,4q^3 + 336,6q^2 + 405,5q + 477,9$	56,5
	$U_{2,1} = -171,8q^3 + 490,1q^2 + 270,4q + 487,3$	44,6
Пропан-бутанова суміш	$U_{0,1} = -35020q^3 + 20380q^2 - 373,3q + 410,5$	18,65
	$U_{0,9} = -48200q^3 + 25770q^2 - 919,4q + 408,3$	29,32
	$U_{2,1} = -44360q^3 + 24490q^2 - 997,1q + 409,5$	16,42

Таблиця 2 – Апроксимаційні залежності вихідного сигналу термоанемометричного витратоміра при використанні різних робочих середовищ

Робоче середовище	Апроксимаційна залежність	Середнє квадратичне відхилення апроксимації, мВ
Природний газ	$U = -150,9q^3 + 410,8q^2 + 0,023q^2p + 368,5q - 0,004qp - 0,01p + 505,6$	25,89
Повітря	$U = 42,59q^3 - 265,5q^2 + 0,119q^2p + 1097q - 0,289qp + 0,126p + 253,6$	102,5
Пропан-бутанова суміш	$U = -18900q^3 + 4601q^2 + 6,058q^2p + 3648q - 2,265qp + 0,173p + 130,7$	91,73

видів використовуваного робочого середовища (табл. 2) за умов функціонування лабораторного стенда.

За результатами експериментальних досліджень побудовані графічні залежності зміни вихідного сигналу термоанемометричного витратоміра від витрати для різних робочих середовищ при фіксованих значеннях надлишкового тиску (рис. 6). З аналізу графіків видно, що чутливість зміни вихідного сигналу за умови використання природного газу становить 756,3 мВ/(м³/год) в той час, коли при використанні пропан-бутанової суміші чутливість є набагато вищою і становить 3145,7 мВ/(м³/год), що практично відповідає результатам теоретичного моделювання [18].

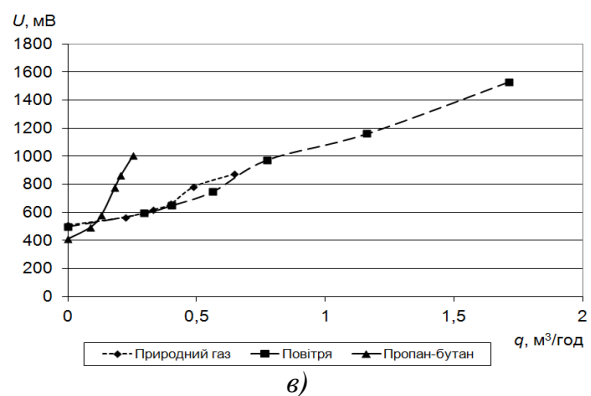
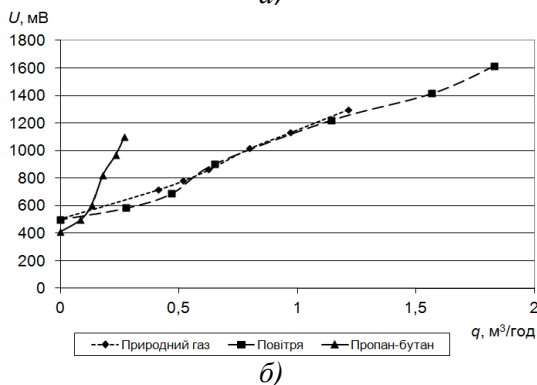
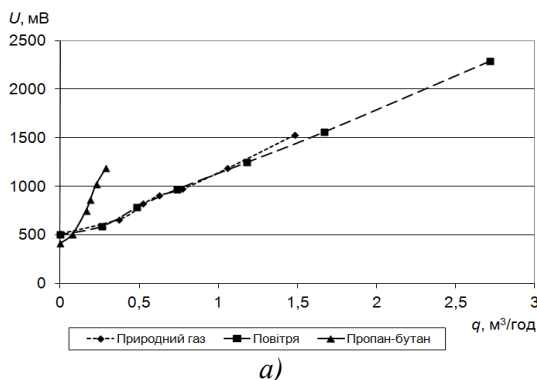


Рисунок 6 – Залежність вихідного сигналу термоанемометричного витратоміра від витрати природного газу, повітря та пропан-бутанової суміші за тиску 0,1 кПа (а), 0,9 кПа (б) і 2,1 кПа (в)

Така різниця чутливості при використанні різних робочих середовищ свідчить про можливість застосування термоанемометричного витратоміра для контролю вмісту пропан-бутанового компонента у природному газі.

ВИСНОВКИ

Розроблений лабораторний стенд, який дозволяє проводити експериментальні дослідження функціонування термоанемометричного витратоміра для перевіряння його математичної моделі. Встановлено закономірності зміни вихідного сигналу термоанемометричного витратоміра для різних видів робочого середовища, які обґрунтовують можливість його використання як мобільного засобу для контролю енергетичної цінності природного газу у газових мережах газопостачальних та газотранспортних організацій. Запропоновано можливість використання термоанемометричного

витратоміра як газоаналізатора при контролі якісних характеристик природного газу.

1. Roslonek G. Uwarunkowania wdrozenia rozliczen paliw gazowych w jednostkach energii w krajowym systemie gazowniczym / G. Roslonek // *Techniki i technologie dla gazownictwa – pomiary, badania, eksploatacja: Konf. Nauk.-Techn. FORGAZ 2014, 15-17 stycznia 2014r., Muszyna: Prace naukowe Instytutu Nafty i Gazu, Nr 194. – Krakow: Instytut Nafty i Gazu, 2014. – S.139-143.*

2. Крук І.С. Облік природних газів за їх енергетичною цінністю / І.С. Крук // *Приладобудування: стан і перспективи. XIII Міжнар. наук.-техн. конф., 23-24 квітня 2014 р., Київ: зб. тез доповідей. – К.: ПБФ, НТУУ "КПІ", 2014. – С.220-221.*

3. Національний стандарт України. Природний газ. Визначення енергії. ДСТУ ISO 15112:2009. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 48 с.

4. Облік природного газу: довідник / М.П.Андрійшин, О.М.Карнаш, О.Є.Середюк [та ін.]; за ред. С.А.Чеховського. – Івано-Франківськ: ПП «Сімик», 2008. – 180 с.

5. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 1 / П.П. Кремлевский. – СПб.: Политехника, 2002. – 409 с.

6. Пат. 92846 С2 Україна, МПК (2009) G 01 N 25/20. Спосіб експрес-визначення теплоти згорання природного газу / Карнаш О.М., Дарвай І.Я., Карнаш М.О. [та ін.]. – № а200905201; заявл. 25.05.2009; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23.

7. Романів В.М. Дослідження експериментального зразка системи контролю енерговмісту природного газу / В.М. Романів, С.А. Чеховський // *Метрологія та прилади. – 2014. – № 1. – С. 192-196.*

8. Пат. 99887 С2 Україна, МПК (2012.01) G 01 F 1/00. Парціальний витратомір / Середюк О.Є., Малісевич В.В. – № а201114278; заявл. 02.12.11; опубл. 10.10.12, Бюл. № 19.

9. Малісевич В.В. Контроль метрологічних характеристик лічильників газу з урахуванням якісних параметрів робочого середовища / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // *Вимірювальна техніка та метрологія. – 2013. – №74. – С.158–163.*

10. 12-Bit Sign Temperature Sensor and

Thermal Window Comparator with Two-Wire Interface [електронний ресурс]. URL: <http://www.ti.com/product/LM92?keyMatch=lm92&tisearch=Search-EN>

11. Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated [електронний ресурс]. URL: http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPXV4006.pdf

12. 8-bit Atmel Microcontroller with 8KB In-System Programmable Flash [електронний ресурс]. URL: http://www.atmel.com/ru/ru/Images/Atmel-8159-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8A_summary.pdf

13. D6F-V03A1 MEMS Flow Rate Sensor [електронний ресурс]. URL: <http://www.omron.com/ecb/products/sensor/61/d6f-v.html>

14. Межгосударственный стандарт. Баллоны стальные сварные для сжиженных углеводородных газов на давление до 1,6 МПа. Технические условия: ГОСТ 15860-84. – [Введен с 1985-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1984.–9 с.

15. Межгосударственный стандарт. Газы углеводородные сжиженные для автомобильного транспорта. Технические условия: ГОСТ 27578-87. – [Введен с 1988-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1987.–10 с.

16. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с.

17. Пат. 91778 U Україна, МПК (2014.01) G 01 F 1/00. Парціальний витратомір / Середюк О.Є., Малісевич В.В. – № u201402428; заявл. 11.03.14; опубл. 10.07.14, Бюл. № 13.

18. Малісевич В.В. Математичне моделювання алгоритму функціонування парціального витратоміра природного газу / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // *Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості: Всеукраїнська наук.-практ. конф., Івано-Франківськ, 8-11 жовтня 2013 р. – С. 161-163.*

Поступила в редакцію 01.12.2014р.

Рекомендували до друку: Оргкомітет 7-ої МНТК з НК і ТД обладнання (25 – 28.11.2014р., ІФНТУНГ) та докт. техн. наук, проф. Костишин В.С.