

681.121.3(043)
M19

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

МАЛІСЕВИЧ ВІТАЛІЙ ВАСИЛЬОВИЧ



УДК 681.121.3(043)

M19

**КОНТРОЛЬ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЦІННОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ІЗ
ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.



Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Середюк Орест Євгенович,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри методів та приладів контролю якості і сертифікації продукції, м. Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Древецький Володимир Володимирович,

Національний університет водного господарства та природокористування, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, м. Рівне;

кандидат технічних наук, доцент

Вашкурак Юрій Зіновійович,

Національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри автоматизації теплових та хімічних процесів, м. Львів.

Захист відбудеться «02» жовтня 2015 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15)

Автореферат розісланий «01» вересня 2015 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 20.052.03
доктор технічних наук, професор

А.П. Олійник

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стратегічно важливим аспектом існування будь-якої держави є наявність у неї енергетичних ресурсів, одним із основних серед яких для України є природний газ, оскільки власний видобуток забезпечує тільки близько 40 % потреб. При цьому все більшої актуальності набувають питання вдосконалення і підвищення точності його обліку, насамперед із застосуванням не тільки нових більш точних засобів обліку, але і на базі нових концептуальних підходів до практичної реалізації обліку, зокрема з врахуванням енергетичної цінності природного газу.

Чинна концепція створення єдиної системи обліку природного газу в Україні, яка схвалена Постановою Кабінету Міністрів України №1089 від 21.08.2001 року "Про концепцію створення єдиної системи обліку природного газу", передбачає необхідність не тільки вдосконалення і впровадження сучасних високоточних лічильників і автоматизованих вимірювальних комплексів, а також здійснення переходу на облік газу та проведення розрахунків за нього з урахуванням його калорійності. Свідченням цього є перші практичні кроки впровадження в Україні гармонізованого з європейськими нормами EN міждержавного стандарту щодо функціонування вимірювальних станцій для природного газу, де передбачається їх оснащення засобами вимірювання теплоти згорання і енергії природного газу.

З урахуванням сучасних тенденцій розвитку енергоощадних технологій застосування природного газу в Україні з 2011 р. чинним є національний стандарт "Природний газ. Визначення енергії: ДСТУ ISO 15112:2009", який регламентує методи та порядок визначення енергії під час комерційних розрахунків за спожитий газ. Однак на даний час реальне впровадження цього стандарту є достатньо проблематичним насамперед через відсутність простих за конструкцією і оперативних за можливістю застосування технічних засобів для визначення теплоти згорання природного газу безпосередньо у його споживачів. Натомість, сьогодні розрахунок за спожитий газ ведеться за використанням його об'ємом і оплата за нього з врахуванням теплоти згорання практично не здійснюється. Недоліком практично всіх засобів вимірювальної техніки, які застосовуються сьогодні для обліку природного газу, є вимірювання ними тільки об'єму газу як комерційного параметра.

Незважаючи на значний вклад у розробку наукових аспектів витратометрії природного газу І.С. Бродина, Є.П. Пістуна, О.Є. Середюка, І.С. Петришина, Л.В. Лесового, С.А. Чеховського, В.С. Вошинського, Ю.В. Пономарьова, Я.М. Власюка, П.П. Кремльовського, А.П. Герасимова, В.М. Красавіна, Д. Допхайде, Р. Крамера, З. Кабзи, Г. Маттінглі, А. Джонсона та інших, досліджувані ними проблеми практично не стосувалися обліку енергетичної цінності природного газу, що потребує подальшого їх вивчення у цих напрямках досліджень.

Тому вивчення питань вдосконалення пристроїв для контролю енергетичної цінності природного газу є актуальною задачею, оскільки

відкриває нові шляхи раціонального використання енергетичних ресурсів, підвищення економічної ефективності діяльності підприємств і практичної гармонізації національних підходів з європейськими у сфері обліку природного газу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, результати яких знайшли відображення в дисертаційній роботі, виконувались здобувачем відповідно до плану навчання в аспірантурі на кафедрі методів та приладів контролю якості і сертифікації продукції Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу і відповідали тематиці виконання держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри: "Наукові основи розробки методів, систем і нормативної бази для вимірювання витрати та контролю обладнання і технічних параметрів в нафтогазовій галузі" (2009-2014 рр., розділ 3. Методи, системи і нормативна база відтворення і передавання одиниць об'єму і об'ємної витрати, РК 0109U008878). Автор був виконавцем окремих розділів науково-дослідних робіт.

Мета роботи полягає у вирішенні актуального науково-прикладного завдання розроблення методу та засобу для контролю енергетичної цінності природного газу шляхом вдосконалення пристроїв, які функціонують із застосуванням термоанемометричних перетворювачів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних методів контролю енергетичної цінності природного газу та стану їх реалізації в технічних засобах;
- дослідити наявність та характер взаємозв'язків між енергетичною цінністю природного газу і його теплофізичними характеристиками;
- розробити теоретичні засади функціонування засобів контролю енергетичної цінності природного газу, укомплектованими термоанемометричними перетворювачами теплоти згорання природного газу і перетворювачем витрати газу;
- розробити, виготовити та здійснити дослідне перевірення експериментального зразка пристрою для контролю енергетичної цінності природного газу і провести апробацію можливості його практичного застосування;
- розробити напрями технічної реалізації засобів контролю енергетичної цінності природного газу і провести їх метрологічний аналіз.

Об'єктом дослідження є теплофізичні процеси взаємодії рухомого і нерухомого середовища природного газу з термоанемометричним перетворювачем.

Предметом дослідження є методи та засоби визначення енергетичної цінності природного газу із застосуванням термоанемометричних перетворювачів, їх математичні та метрологічні моделі.

Методи досліджень. Математичне і фізичне моделювання газодинамічних і термодинамічних процесів у трубопроводах з термоанемометричними перетворювачами здійснювалося з використанням теорій газодинаміки, теплообміну, критеріїв гідродинамічної подібності потоків, методів імітаційного моделювання на персональних комп'ютерах.

Експериментальні дослідження та узагальнення результатів здійснювалося із застосуванням методів планування експерименту, теорії вимірювань, математичної статистики і теорії імовірності, статистичного і регресійного аналізу, методів числового опрацювання результатів експериментів із використанням персональних комп'ютерів.

При метрологічному аналізі засобу контролю енергетичної цінності природного газу використовувалися методи оцінювання з використанням теорії невизначеності у вимірюваннях, метод структурного аналізу складових невизначеності та імовірнісні методи розрахунку стандартної невизначеності.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше отримана математична модель взаємозв'язку енергетичної цінності природного газу з коефіцієнтом тепловіддачі термоанемометричного перетворювача при опосередкованому врахуванні теплофізичних характеристик природного газу, що дає можливість реалізувати процес вимірювання енергетичної цінності природного газу з використанням термоанемометричних перетворювачів.

2. Вперше запропонований статистично-регресійний метод визначення теплоти згорання і густини природного газу за коефіцієнтом тепловіддачі термоанемометричного перетворювача, який забезпечує практичну реалізацію термоанемометричного контролю енергетичних характеристик природного газу за різних значень його робочих параметрів.

3. Набула подальшого розвитку теорія дослідження впливу теплофізичних (теплопровідність, теплоємність) і фізичних (динамічна в'язкість, густина) характеристик природного газу на функціонування термоанемометричних перетворювачів, що дає можливість досліджувати вплив компонентного складу природного газу на інформативні параметри засобів контролю енергетичної цінності природного газу.

4. Набув подальшого розвитку метод термоанемометричного контролю шляхом удосконалення алгоритму визначення коефіцієнта тепловіддачі термоанемометричного перетворювача з урахуванням його конструктивного виконання, швидкості і робочих умов потоку газу, що забезпечує практичну реалізацію потокового контролю енергетичної цінності природного газу.

5. Набула подальшого розвитку теорія метрологічних досліджень засобів контролю енергетичної цінності природного газу з метою коректного оцінювання їх метрологічних характеристик.

На захист виносяться.

1. Залежність теплоти згорання природного газу природного газу від коефіцієнта тепловіддачі термоанемометричного перетворювача.

2. Новий експрес-метод потокового визначення енергетичної цінності природного газу.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Розроблено та виготовлено макет експериментальної установки для визначення енергетичної цінності природного газу, яка пройшла апробацію в умовах ПАТ «Івано-Франківськгаз», що підтвердило правильність прийнятих теоретичних підходів і практичних рішень при реалізації експрес-методу

контролю енергетичної цінності природного газу.

2. Запропоновані нові технічні рішення при створенні засобів для контролю енергетичної цінності природного газу, які захищені двома патентами України на винахід і двома патентами України на корисну модель.

3. Отримані в дисертаційній роботі наукові результати використовуються у навчальному процесі кафедри "Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції" ІФНТУНГ при викладанні дисциплін "Основи виміральної техніки", "Тепловий контроль", "Прилади неруйнівного контролю і технічної діагностики" для бакалаврів напряму підготовки "Приладобудування".

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення та результати роботи отримані автором самостійно і стосуються: розроблення математичної моделі вимірювача потоку газу з корекцією щодо енергетичних характеристик природного газу [24], розроблення принципів побудови, конструктивного рішення та методики проведення досліджень лабораторної установки для експериментальних досліджень засобів контролю енергетичних характеристик плинних потоків газу [4, 26].

У роботах, які опубліковані у співавторстві, використані результати, одержані здобувачем особисто, до яких належать: розроблення теоретичних засад застосування термоанемометричного перетворювача при визначенні енергетичної цінності природного газу [1]; дослідження метрологічних аспектів підвищення точності вимірювань при застосуванні контрольних лічильників газу [9]; аналіз нормативних документів для контролю технічного стану вузлів обліку природного газу [18]; імітаційне моделювання на ПЕОМ впливу густини і компонентного складу природного газу на його теплофізичні властивості [5, 22, 23] і на метрологічні характеристики витратомірів [10]; математичне моделювання функціонування вимірювача енергетичної цінності природного газу [2, 25]; методологія виконання експериментальних досліджень і її апробація при дослідженні термоанемометричних витратомірів при обліку енергетичної цінності природного газу [6, 20, 30]; моделювання складових похибки витратомірів при контролі енергетичної цінності природного газу [3, 27, 29]; розроблення метрологічної моделі витратомірів при контролі енергетичної цінності природного газу [7, 8, 28]; ідеї і обґрунтування нових технічних рішень вузлів витратомірів при контролі енергетичної цінності природного газу [13, 14, 15, 16]; розроблення нових принципів побудови витратомірів при контролі енергетичної цінності природного газу [11, 12, 17, 19, 21].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на 14 міжнародних і 3 Всеукраїнських науково-технічних конференціях: 11th International Symposium on Measurement and Quality Control (ISMQC 2013), Cracow-Kielce, Польща, 2013 р.; VII-IX міжнар. наук.-техн. конф. "Метрологія та вимірвальна техніка", м. Харків, 2010, 2012, 2014 рр.; X-XIII міжнар. наук.-техн. конф. "Приладобудування: стан і перспективи", м. Київ, 2011, 2012, 2013, 2014 рр.; 1-ша міжнар. наук. конф. пам'яті професора Володимира Поджаренка

"Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2011)", м. Вінниця, 2011 р.; двох міжнар. наук.-техн. конф. "Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи", м. Івано-Франківськ, 2011, 2013 рр.; VI, VII міжнар. наук.-техн. конф. "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання", м. Івано-Франківськ, 2011, 2014 рр.; Міжнар. наук.-практ. конф. "Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи", м. Львів, 2013 р.; VII всеукр. наук.-техн. конф. "Вимірювання витрати та кількості газу", м. Івано-Франківськ, 2011 р.; Всеукраїнська наук.-практ. конф. "Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості", м. Івано-Франківськ, 2013 р.; IV наук.-практ. конф. студентів і молодих учених "Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання", м. Івано-Франківськ, 2013 р.

Крім того, матеріали роботи доповідались на наукових семінарах кафедри "Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції" ІФНТУНГ впродовж 2011-2014 рр.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 30 наукових праць, у тому числі 12 статей (із них 1 одноосібна) у фахових наукових виданнях, які входять до переліку ДАК України, серед яких одна праця в науковому журналі, що входить до міжнародної наукометричної бази Scopus, дві праці – до бази Index Copernicus, 2 статті у закордонних науково-технічних виданнях, 2 патенти України на винаходи і 2 патенти України на корисні моделі та 14 публікацій (із них 2 одноосібні) за матеріалами праць науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 210 сторінок. Робота містить 134 сторінки основного тексту, 44 рисунки, 8 таблиць, список використаних джерел з 153 найменувань на 19 сторінках, 8 додатків на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність вибраного напрямку досліджень, визначено предмет і об'єкт дослідження, сформульовано мету, завдання та методи досліджень, показано зв'язок дисертації з науковими програмами, визначено наукову новизну, практичне значення та особистий внесок здобувача в одержаних результатах, подано відомості про їх публікації та апробацію.

У першому розділі наведені результати аналізу сучасного стану наукового, нормативного і технічного забезпечення при вимірюванні енергетичної цінності природного газу. Встановлено, що на сьогоднішній час в Україні є наявними чинні нормативні документи з визначення енергії і енергетичної цінності природного газу. Водночас відсутні робочі засоби для її визначення прямим методом в експлуатаційних умовах засобів обліку природного газу.

З врахуванням міжнародного досвіду і чинного в Україні національного стандарту облік природного газу повинен здійснюватися інформаційно-вимірвальними вузлами, які забезпечують визначення його енергії, яка

міститься у вимірній кількості (об'ємі або масі) газу і вимірюється у МДж або кВт·год. Виявлено, що в практичному аспекті обліку і при транспортуванні природного газу застосовується поняття енергетичної цінності природного газу, яка характеризує витрату енергії газу за одиницю часу і подається в одиницях МДж/с або в ккал/с. Інтегрування цієї характеристики впродовж інтервалу часу дає змогу отримати кількісне значення енергії природного газу, яка розраховується як добуток кількості газу (маса або об'єм) і теплоти згорання газу за заданих умов.

Енергетичну цінність (витрату енергії) e природного газу, що проходить через переріз трубопроводу, можна визначати за відомою формулою:

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

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

З формули (1) витікає, що вимірювання енергетичної цінності природного газу можна розглядати із застосуванням поняття парціальності впливу складових, тобто оцінюванням впливу окремих компонент на результат вимірювання. Тому в роботі при вимірюванні енергетичної цінності плинних потоків природного газу запроваджено термінологічне поняття "парціальний витратомір", тобто такий, який при функціонуванні враховує вплив витратної і енергетичної компонент. Така термінологія конкретизована у отриманих автором патентах, апробована на міжнародних науково-технічних конференціях і відображена у найменуваннях фахових публікацій.

За результатами виконаного аналізу області застосування еталонних установок для вимірювання об'єму і витрати природного газу і технічних засобів для перевіряння технічного стану вузлів обліку природного газу виявлено, що вони при функціонуванні не передбачають проведення контролю чи вимірювання енергетичних характеристик робочого середовища.

Досліджено сферу застосувань і особливості функціонування первинних перетворювачів витрати (напірні, термоанемометричні, ультразвукові, змінного перепаду тиску) для умов вимірювання енергетичної цінності природного газу.

Показано відсутність серійних достатньо простих за конструкцією перетворювачів якісних характеристик природного газу, в тому числі, його теплоти згорання. Встановлено, що на сьогоднішній час потребують наукового обґрунтування напрямки розроблення і вдосконалення засобів, які забезпечують можливість опосередкованого обліку енергетичної цінності природного газу у відповідності до світових тенденцій обліку енергоресурсів і впровадження нових національних стандартів по визначенню енергії газу.

На підставі викладеного матеріалу сформульовано завдання, що потребують вирішення і обґрунтовано напрямки дисертаційних досліджень.

У другому розділі викладені результати теоретичних досліджень засобів контролю енергетичної цінності природного газу. При цьому акцентована увага на розроблення теоретичних засад функціонування термоанемометричного перетворювача у складі пристрою контролю енергетичної цінності природного газу на базі композиції перетворювачів – первинного перетворювача витрати і термоанемометричного перетворювача.

При формуванні теоретичних засад функціонування

термоанемометричного перетворювача розглядалося рівняння теплового балансу між його чутливим елементом і робочим середовищем. Використовуючи критерії подібності Нуссельта, Прандтля Pr і Рейнольдса Re для визначення коефіцієнта тепловіддачі термоанемометричного перетворювача отриманий такий алгоритм функціонування термоанемометра за умов його обтікання потоком природного газу:

$$R_d = \frac{R_C \pi l_d \lambda_r (k(T_C - T_r) - 1) (0,42 Pr^{0,2} + 0,57 Pr^{0,33} \cdot Re^{0,5})}{I_d^2 k R_C - \pi l_d \lambda_r (0,42 Pr^{0,2} + 0,57 Pr^{0,33} \cdot Re^{0,5})}, \quad (2)$$

$$\text{де } Pr = c_p \mu / \lambda; \quad Re = \rho v d_d / \mu. \quad (3)$$

В (2)-(3) позначено: c_p , μ – теплоємність і динамічна в'язкість природного газу за робочих умов термоперетворювача відповідно; λ_r – коефіцієнт теплопровідності природного газу; I_d , R_d , α – електричний струм, електричний опір і коефіцієнт тепловіддачі чутливого елемента (дротини) термоанемометричного перетворювача відповідно; l_d , d_d , T_d – довжина, діаметр і температура дротини відповідно; R_C – електричний опір дротини за стандартних умов; k – температурний коефіцієнт електричного опору матеріалу дротини.

Оскільки на значення інформативного параметра R_d впливають теплофізичні характеристики природного газу (теплопровідність, теплоємність), то здійснено з використанням композиційного аналізу моделювання їх зміни для вибраного діапазону робочих тисків (0,1...2,0) МПа і фіксованих значень температури 273,15; 283,15 і 293,15 К з урахуванням зміни компонентного складу природного газу. За основу при моделюванні вибраний такий склад газу, який містить за об'ємом 93 % метану, 3,3 % етану, 1,8 % пропану, 1,5 % азоту та 0,4 % вуглекислого газу. В процесі моделювання змінювався вміст метану в діапазоні (89...97) %, етану (0...6,6) %, пропану (0...3) %, азоту (0...3) %, вуглекислого газу (0...0,8) %. При зміні вмісту кожного з компонентів вміст решти складових пропорційно збільшувався або зменшувався для досягнення суми 100 %.

З графіків, які наведені на рис. 1 за результатами моделювання для температури 0 °С очевидний неоднозначний характер зміни теплопровідності від зміни компонентного складу газу і робочого тиску. Так при зростанні вмісту метану за низьких тисків (близько 0,1...0,3 МПа) теплопровідність робочого середовища зростає з $27,96 \cdot 10^3$ до $29,75 \cdot 10^3$ Вт/(м·К), а при великих тисках (близько 1,3...1,5 МПа) за цих же умов спадає з $34,07 \cdot 10^3$ до $32,77 \cdot 10^3$ Вт/(м·К). Цей характер зміни теплопровідності практично є аналогічним і за температур 10 і 20 °С, однак із зростанням тиску і одночасним зростанням температури ця зміна кількісно стає меншою при 10 °С, а при 20 °С теплопровідність, навіть дещо зростає з $34,67 \cdot 10^3$ до $34,76 \cdot 10^3$ Вт/(м·К).

За результатами моделювання можна виділити ділянки, де теплопровідність несуттєво змінюється від впливу компонентного складу природного газу за певних значень його температури і тиску. Це свідчить про можливість вибору оптимізаційних характеристик щодо умов експлуатації термоперетворювача.

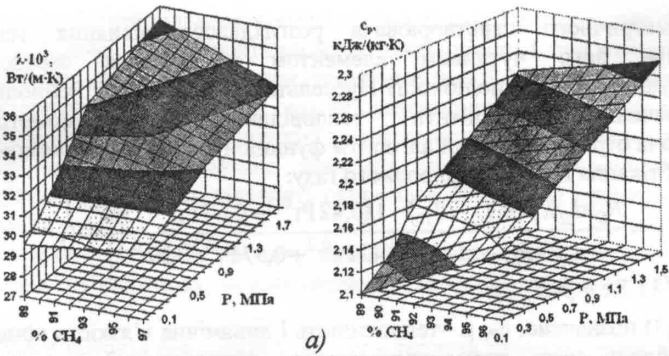


Рис. 1. Результати моделювання зміни теплопровідності λ (а) і теплоємності c_p (б) природного газу від концентрації метану при температурі 273,15 К

Результати моделювання, які наведені на рис. 1, б свідчать про однаковий вид закономірностей впливу компонентного складу природного газу і його фізичних параметрів (тиску і температури) на зміну теплоємності газу. При цьому теплоємність зростає із зростанням вмісту метану і зі зростанням тиску природного газу. Незважаючи на те, що ілюстровані закономірності в цілому є достатньо відомими, однак результати моделювання дозволяють кількісно оцінити ступінь впливу компонентного складу і робочих параметрів газу на його теплофізичні характеристики.

В цьому розділі також досліджені закономірності зміни інформативного параметру (електричного опору) термоанемометричного перетворювача на прикладі робочих умов функціонування витрато-термоанемометричного вимірювача (рис. 2). З результатів моделювання видно нелінійний характер зміни опору R_D від швидкості потоку v та якісних параметрів природного газу: теплопровідності λ , теплоємності c_p , динамічної в'язкості μ та густини ρ . Чутливість термоанемометричного перетворювача досліджувалася методом частинного диференціювання (2) по λ , c_p , μ та ρ , що дало можливість встановити умови найбільшого впливу на зміну інформативного параметру при контролі енергетичної цінності природного газу.

В цьому розділі розглянутий розроблений статистично-регресійний метод визначення теплоти згорання і густини природного газу за коефіцієнтом тепловіддачі термоанемометричного перетворювача, який забезпечує практичну реалізацію термоанемометричного контролю енергетичних характеристик природного газу за різних значень його робочих параметрів.

Для цього на основі реальних даних, які отримані хімічною лабораторією ПАТ "Івано-Франківськгаз" впродовж 2008-2010 рр. при проведенні хроматографії природного газу, сформовано базу даних, яка містить відомості про компонентний склад, нижчу теплоту згорання та густину кожного із 97 різних складів природного газу за стандартних умов. В базу даних відібрані гази, що у своєму складі містили метан з об'ємною концентрацією (92,5...98,1) %, етан – (0,6...3,3) %, пропан – (0,2...1,5) %, азот – (0,5...1,2) %, вуглекислий газ – (0...0,9) %. Далі для кожного складу природного газу за використаною

методикою композиційного аналізу розраховувалися коефіцієнти теплопровідності, теплоємності та динамічної в'язкості складів природного газу, що дало можливість розраховувати коефіцієнт тепловіддачі α_C за стандартних умов термоанемометричного перетворювача:

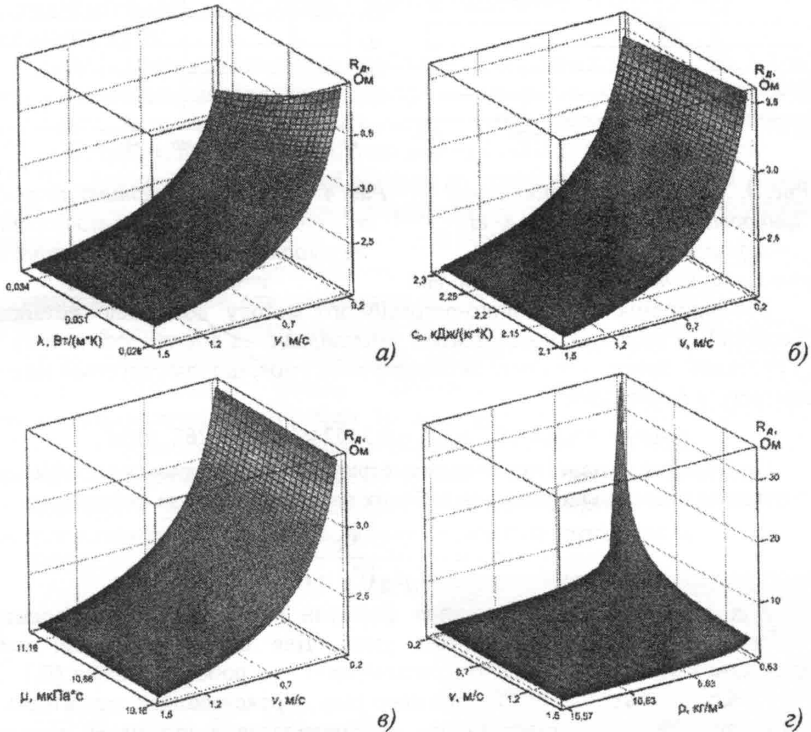


Рис. 2. Графічна ілюстрація зміни інформативного параметру витрато-термоанемометричного вимірювача від швидкості потоку та теплопровідності (а), теплоємності (б), динамічної в'язкості (в), густини (г) природного газу

$$\alpha_C = \frac{(0,42 \text{Pr}^{0,2} + 0,57 \text{Pr}^{0,33} \text{Re}^{0,5}) \cdot \lambda_{\Gamma}}{d_{\text{Д}}} \quad (4)$$

Це дало можливість отримати таку регресійну залежність:

$$H_C(\alpha) = 145205 \cdot \alpha_C - 141,732 \cdot 10^6, \text{ Дж/м}^3 \quad (5)$$

На основі даних про теплоту згорання природного газу відповідно до (1) за умови використання трубопроводу з внутрішнім діаметром 20 мм при швидкості потоку газу 1 м/с зміна енергетичної цінності природного газу від коефіцієнта тепловіддачі термоанемометричного перетворювача подана у вигляді графіка (рис. 3).

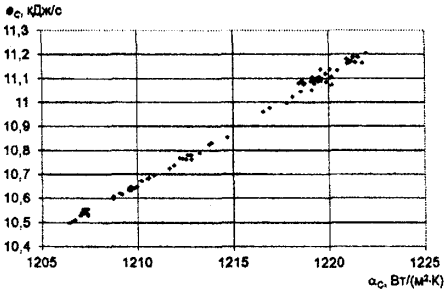


Рис. 3. Залежність енергетичної цінності природного газу e_c від коефіцієнта тепловіддачі α_c перетворювача при витраті $1,13 \text{ м}^3/\text{год}$

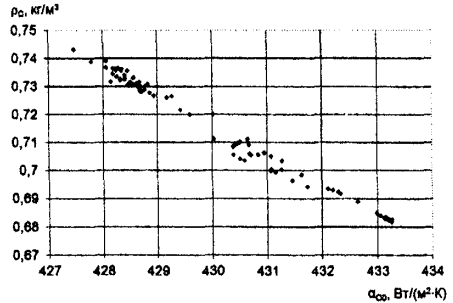


Рис. 4. Залежність густини природного газу від коефіцієнта тепловіддачі α_{c0} термоанемометричного давача при $v=0 \text{ м/с}$, $d=30 \text{ мкм}$

Використання статистично-регресійного методу дозволило встановити регресійний зв'язок між коефіцієнтом тепловіддачі за відсутності потоку газу α_{c0} і густиною природного газу за стандартних умов, що ілюструється на рис. 4 і записується формулою:

$$\rho_c(\alpha) = 3,8268 \cdot 10^{-4} \alpha_{c0}^2 - 0,34024 \alpha_{c0} + 76,262, \text{ кг/м}^3. \quad (6)$$

При функціонуванні термоанемометричного перетворювача коефіцієнт α_0 визначається експериментально за робочих параметрів газу за формулою:

$$\alpha_0 = \frac{I_D^2 R_D}{\pi d_D l_D (T_D - T)}. \quad (7)$$

Для практичного застосування формули (6) значення коефіцієнта α_0 потрібно привести до стандартних умов. Для цього на основі набору розрахованих значень коефіцієнта тепловіддачі при робочих тисках (0,1...2,0) МПа і температурах (0...30) °С отримано таку апроксимаційну залежність при використанні термоанемометричного перетворювача з чутливим елементом діаметром 30 мкм:

$$\alpha_0(p, T) = -2,061 \cdot 10^{-12} p^2 + 8,785 \cdot 10^{-5} p + 1,681T - 2,316 \cdot 10^{-7} pT - 65,7. \quad (8)$$

На підставі цієї апроксимаційної залежності отримана формула для перерахування коефіцієнта α_0 до його значення за стандартних умов робочого середовища α_{c0} :

$$\alpha_{c0} = 429,06 \alpha_0 / \alpha_0(p, T). \quad (9)$$

Наведена модель дозволяє визначений експериментально при функціонуванні вимірювача коефіцієнт тепловіддачі термоанемометричного перетворювача за робочих умов привести до стандартних умов за формулою (9), а потім, використовуючи формулу (6), отримати числове значення густини природного газу.

В цьому розділі також теоретично досліджено характер впливу зміни густини природного газу на вимірювання його витрати у складі витрато-термоанемометричних і ультразвукових термоанемометричних засобів

контролю енергетичної цінності природного газу. Крім того, вивчений вплив зміни якісних параметрів природного газу на визначення його енергетичної цінності.

У третьому розділі викладені результати розроблення і експериментальних досліджень засобів контролю енергетичної цінності природного газу.

В цьому аспекті викладені особливості технічних рішень при створенні напірно-термоанемометричного пристрою контролю енергетичної цінності природного газу, які стосуються конструктиву перетворювачів витрати і теплоти згорання, що захищено патентами на винахід і корисну модель.

Відображені концептуальні підходи до створення лабораторної установки для контролю енергетичної цінності природного газу і проведено моделювання діапазону зміни інформативних параметрів при її функціонуванні.

Сформульовані запропоновані технічні рішення при розробленні лабораторної установи для визначення енергетичної цінності природного газу. До її складу (рис. 5) входять: вхідний патрубок 1, балон 2 з пропан-бутановою сумішшю, джерело витрати повітря 3, задавачі витрати 4, 6, 12, редуктор 5, джерело нагрівання потоку робочого середовища 7, витрато-термоанемометричний вимірювач 10 з первинним давачем витрати (трубка Піто) 8 та термоанемометричним перетворювачем 9, лічильник 11 об'єму робочого середовища, випускний патрубок 13 та ПЕОМ 14. Дані про тиск p і температуру T робочого середовища, перепад тиску на трубці Піто Δp та напругу вихідного сигналу термоанемометричного перетворювача U надходять до ПЕОМ.

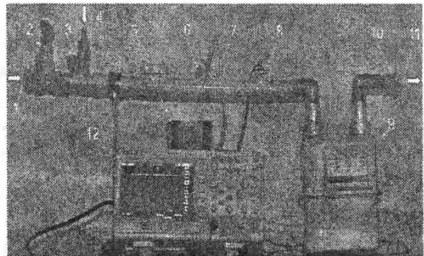
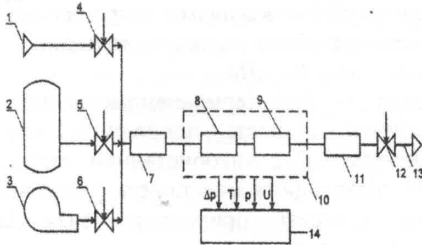


Рис. 5. Схема лабораторної установки Рис. 6. Загальний вигляд лабораторної установки

При проведенні експериментальних досліджень виготовлена лабораторна установка (рис. 6) здатна забезпечити максимальну витрату робочого середовища $2,45 \text{ м}^3/\text{год}$ при його максимальному надлишковому тиску $2,5 \text{ кПа}$. Крім того конструкція установки дозволяє використовувати різні робочі середовища при дослідженнях.

В розділі також наведено результати експериментальних досліджень лабораторної установки при нерухомому (рис. 7) і рухомому (рис. 8) робочих середовищах. При контролі енергетичної цінності природного газу (рис. 9) спостерігається нелінійний характер зміни вихідного сигналу при зміні витрати для природного газу з різною теплотою згорання.

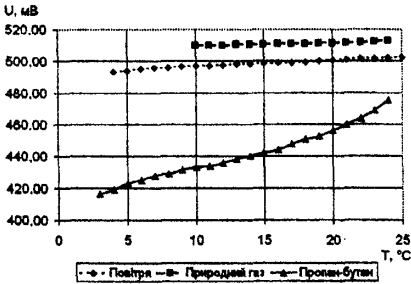


Рис. 7. Залежність вихідного сигналу термоанемометричного перетворювача від виду та температури робочого середовища

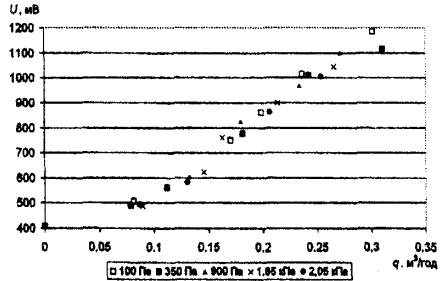


Рис. 8. Залежність вихідного сигналу термоанемометричного перетворювача від витрати пропан-бутанової суміші за різних тисків

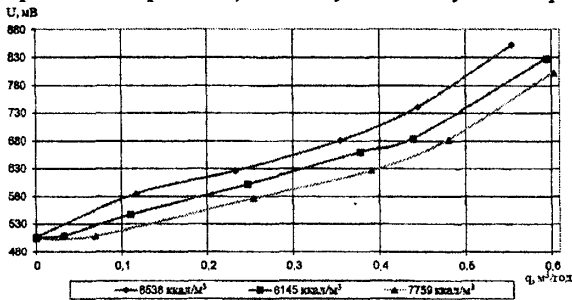


Рис. 9. Залежність вихідного сигналу пристрою контролю енергетичної цінності природного газу від його витрати при різних значеннях теплоти згорання і надлишкового тиску 0,1 кПа

Апробація функціонування установки на базі термоанемометричного перетворювача для контролю енергетичної цінності природного газу проводилась в умовах ПАТ "Івано-Франківськгаз" з використанням газів з різною теплою згорання і її результати підтвердили можливість реалізації експрес-методу контролю енергетичної цінності природного газу із застосуванням термоанемометричних перетворювачів.

В розділі розроблені напрямки розвитку методу термоанемометричного контролю шляхом удосконалення алгоритму визначення коефіцієнта тепловіддачі термоанемометричного перетворювача з урахуванням його конструктивного виконання, швидкості і робочих умов потоку газу, що забезпечує практичну реалізацію потокового експрес-контролю енергетичної цінності природного газу.

Наведено особливості запропонованих запатентованих технічних рішень витрато-термоанемометричних засобів контролю енергетичної цінності природного газу, які стосуються напірно-термоанемометричного і ультразвукового термоанемометричного їх конструктивних виконань.

У четвертому розділі наведені результати метрологічного аналізу розроблених трьох типів засобів контролю енергетичної цінності природного

газу: напірно-термоанемометричного, ультразвукового термоанемометричного і на базі витратоміра змінного перепаду тиску.

Для першого із них розроблено таку метрологічну модель (рис. 10), яка відображає основні складові невизначеностей і взаємозв'язок між ними.

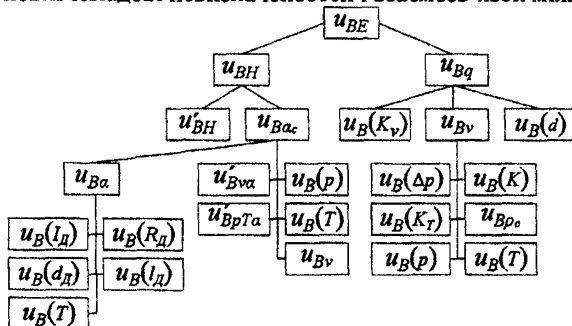


Рис. 10. Метрологічна модель визначення енергетичної цінності витрати газу при функціонуванні напірно-термоанемометричного вимірювача

На ній позначено: u_{BE} – стандартна невизначеність визначення енергетичної цінності витрати природного газу; u_{BH} – стандартна невизначеність визначення нижчої теплоти згорання природного газу; u_{Bq} – стандартна невизначеність визначення витрати природного газу; u'_{BH} – стандартна невизначеність апроксимації теплоти згорання природного газу за коефіцієнтом тепловіддачі α_C термоанемометричного перетворювача; u_{Bac} – стандартна невизначеність приведення коефіцієнта α до стандартних умов; u_{Ba} – стандартна невизначеність визначення коефіцієнта α за робочих умов напірно-термоанемометричного вимірювача; $u_B(I_d)$, $u_B(R_d)$, $u_B(d_d)$, $u_B(I_d)$, $u_B(p)$, $u_B(T)$ – стандартні невизначеності вимірювання сили електричного струму через термоанемометричний давач, електричного опору, діаметра та довжини термоанемометричного давача, тиску та температури природного газу відповідно; u'_{BpTa} , u'_{Bva} – стандартні невизначеності апроксимацій коефіцієнта α від тиску, температури та швидкості потоку газу відповідно; $u_B(p)$, $u_B(T)$ – стандартні невизначеності вимірювання тиску і температури відповідно; u_{Bv} – стандартна невизначеність визначення швидкості потоку природного газу; $u_B(d)$, $u_B(\Delta p)$ – стандартні невизначеності вимірювання внутрішнього діаметра трубопроводу і перепаду тиску на трубці Піто відповідно; $u_B(K_i)$ – стандартна невизначеність визначення коефіцієнта трубки Піто; u_{BK} , u_{Bpc} – стандартна невизначеність визначення коефіцієнта стисливості та густини природного газу за стандартних умов відповідно.

За результатами кількісної оцінки невизначеності встановлено, що числове значення відносної стандартної невизначеності вимірювання енергетичної цінності природного газу цього засобу контролю становить $\pm 3,35\%$.

Виконані метрологічні дослідження ультразвукового термоанемометричного пристрою контролю при застосуванні його для контролю енергетичної цінності природного газу, за результатами яких

невизначеність може не перевищувати $\pm 3,4\%$.

Здійснено моделювання впливу параметрів робочого середовища на зміну градувального коефіцієнта витратоміра змінного перепаду тиску і оцінена невизначеність вимірювання енергетичної цінності природного газу із застосуванням витратоміра змінного перепаду тиску, оснащеного термоанемометричним перетворювачем, яка становить $\pm 3,2\%$.

ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена актуальна науково-прикладна задача у галузі контролю якісних характеристик природного газу, яка стосується розроблення методу та засобу контролю енергетичної цінності природного газу з використанням термоанемометричних перетворювачів. При цьому отримані такі наукові та практичні результати:

1. Проведений аналіз методів і засобів у сфері контролю енергії і енергетичної цінності природного газу з розглядом сучасного стану наукового, нормативного і технічного забезпечення, за результатами якого встановлено проблеми, які мають місце при реалізації контролю енергетичних характеристик природного газу і здійснено вибір і обґрунтування напрямків вдосконалення методів і пристроїв для визначення енергетичної цінності природного газу.

2. Встановлені закономірності впливу теплофізичних (теплопровідність, теплоємність) і фізичних (динамічна в'язкість, густина) характеристик природного газу на функціонування термоанемометричних перетворювачів, які на відміну від відомих моделей конвективного теплообміну дозволяють опосередковано визначити енергетичну цінність плинних потоків природного газу.

3. Розроблена математична модель взаємозв'язку енергетичної цінності природного газу з коефіцієнтом тепловіддачі термоанемометричного перетворювача, яка на відміну від відомих прикладних застосувань термоанемометрів дала можливість розробити теоретичні засади функціонування засобів потокового контролю енергетичної цінності природного газу з використанням термоанемометричних перетворювачів шляхом опосередкованого врахування теплофізичних характеристик природного газу.

4. Запропонований статистично-регресійний метод опосередкованого визначення теплоти згорання і густини природного газу, який на відміну від відомих опосередкованих методів оцінювання теплоти згорання за компонентним складом або за швидкістю поширення ультразвукових хвиль, забезпечує практичну реалізацію термоанемометричного контролю за коефіцієнтом тепловіддачі термоанемометричного перетворювача, чим досягається можливість контролю енергетичної цінності природного газу за різних значень його тиску і температури.

5. Здійснено метрологічний аналіз пристроїв для контролю енергетичної цінності природного газу витрато-термоанемометричним методом шляхом

використання теорії невизначеності у вимірюваннях, що дозволило оцінити відносну невизначеність вимірювання енергетичної цінності, яка за умови неперевикнення об'ємного вмісту азоту 1,2 % і вуглекислого газу 0,9 % у природному газі не перевищує 4 %, що в достатній мірі задовольняє метрологічним вимогам до робочих засобів контролю.

6. Розроблені нові концептуальні технічні рішення пристроїв контролю енергетичної цінності природного газу, які захищені патентами України на винаходи і корисні моделі. Розроблено та виготовлено лабораторну установку для визначення енергетичної цінності природного газу, яка пройшла апробацію в умовах ПАТ "Івано-Франківськгаз" для природного газу із значеннями теплоти згорання 8240; 8538; 8543 ккал/м³ на витратах до 3 м³/год, що підтвердило правильність прийнятих теоретичних підходів і практичних рішень при реалізації експрес-методу контролю енергетичної цінності природного газу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1 Середюк О.Є. Теоретичні засади застосування напірного витратоміра для визначення енергетичної цінності природного газу /О.Є. Середюк, В.В. Малісевич // Метрологія та прилади, 2014. – № 5. – С. 38-47. (*журнал входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus*).

2 Chekhovskiy S. Calculation of natural gas adjusted for its energy parameters / S.Chekhovskiy, O.Serediuk, V.Romaniv, V.Malisevych // Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu Panstwowego Instytutu Badawczego. – Krakow (Польща). – 2014. – № 194. – P.191-200. (*журнал входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus*).

3 Serediuk O. Investigation of the metrological characteristics of the natural gas flow rate standard based on variable pressure drop flowmeter / Orest Serediuk, Vitaliy Malisevych, Zygmunt Warsza // 11th IMEKO TC14 Symposium on Laser Metrology for Precision Measurement and Inspection in Industry (LMPMI 2014), 3-5 September 2014, Tsukuba (Японія). – Curran Associates, Inc. / www.proceedings.com. – 2014. – P. 269-273. (*журнал входить до міжнародної наукометричної бази Scopus*).

4 Малісевич В.В. Лабораторний стенд для експериментальних досліджень енергетичних характеристик плинних потоків при діагностуванні промислових лічильників газу / В.В. Малісевич // Методи та прилади контролю якості. – 2013. – № 2 (31). – С. 76-83.

5 Малісевич В.В. Дослідження впливу якісних параметрів природного газу на функціонування парціального витратоміра / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2013. – № 74. – С. 158-163.

6 Малісевич В.В. Експериментальні дослідження термоанемометричного витратоміра при обліку природного газу за його енергетичною цінністю / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Методи та прилади контролю якості. – 2014. – № 2 (33). – С. 78-85.

7 Малісевич В.В. Метрологічний аналіз визначення коефіцієнта тепловіддачі термочутливого парціального витратоміра при оцінці теплоти згорання природного газу / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Методи та прилади

контролю якості. – 2014. – № 1 (32). – С. 64-71.

8 Малісевич В.В. Метрологічна модель напірного витратоміра при контролі енергетичної цінності природного газу / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк, Д.О. Середюк // Український метрологічний журнал. – 2015. – № 1. – С. 58-63.

9 Власюк Я.М. Аналіз застосування контрольних лічильників газу для підвищення точності обліку природного газу / Я.М. Власюк, О.Є. Середюк, В.В. Малісевич // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – № 23. – С.66-72.

10 Малісевич В.В. Моделювання впливу густини і компонентного складу природного газу при діагностуванні засобів його обліку / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Методи та прилади контролю якості. – 2011. – №27. – С.56-62.

11 Serediuk O. Transfer wartosci wzorca w pomiarach przeplywu gazu ziemnego / Orest Serediuk, Vitaliy Malisevych, Zygmunt Warsza // Pomiarы, automatyka, robotyka (Польща). – 2012. – № 12. – P.173-180.

12 Serediuk O. Niekonwencjonalna metoda tworzenia transferu wartosci wzorca przeplywu gazu ziemnego / Orest Serediuk, Ivan Kruk, Vitaliy Malisevych, Zygmunt Warsza // Gaz, Woda i Technika Sanitarna (Польща). – 2013. – № 1. – P.7-11.

13 Пат. 97074 С2 Україна, МПК (2006.01) G 01 F 1/66. Ультразвуковий фазово-імпульсний витратомір / Середюк О.Є., Лютак З.П., Малісевич В.В.; заявники і патентовласники Середюк О.Є., Лютак З.П., Малісевич В.В. – № а201104611; заявл. 14.04.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24.

14 Пат. 71108 U Україна, МПК (2006.01) G 01 F 1/66. Ультразвуковий фазово-імпульсний витратомір / Середюк О.Є., Лютак З.П., Малісевич В.В.; заявники і патентовласники Середюк О.Є., Лютак З.П., Малісевич В.В. – № u201111790; заявл. 06.10.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.

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

16 Пат. 91778 U Україна, МПК (2014.01) G 01 F 1/00. Парціальний витратомір / Середюк О.Є., Малісевич В.В.; заявники і патентовласники Середюк О.Є., Малісевич В.В. – № u201402428; заявл. 11.03.2014; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.

17 Середюк О.Є. Парціальний витратомір природного газу / О.Є. Середюк, В.В. Малісевич // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2011): 1-ша МНК пам'яті професора Володимира Поджаренка, 18-20 жовтня 2011 р., Вінниця: зб. тез доп. – Вінниця: ВНТУ. – 2011. – С. 57.

18 Малісевич В.В. Аналіз нормативних документів і засобів для контролю технічного стану вузлів обліку природного газу / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Нафтогазова енергетика-2011: міжнар. наук.-техн. конф., 10-14 жовтня 2011 р., Івано-Франківськ: анотації – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2011. – С. 60.

19 Малісевич В.В. Нові принципи побудови ультразвукових витратомірів природного газу / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Вимірювання витрати та

кількості газу: 7-ма всеукр. наук.-техн. конф., 25-27 жовтня 2011 р., м. Івано-Франківськ: зб. тез доп. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2011. – С. 19-20.

20 Малісевич В.В. Лабораторний стенд для фізичного моделювання впливу параметрів природного газу на функціонування парціального витратоміра / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Приладобудування: стан і перспективи: XI міжнар. наук.-техн. конф., 24-25 квітня 2012 р., м. Київ: зб. тез доп. – Київ: ПБФ, НУТУУ "КП". – 2012. – С. 247-248.

21 Середюк О.Є. Нові технічні рішення установок для експрес-контролю і повірки побутових лічильників газу / О.Є. Середюк, А.Г. Винничук, В.В. Малісевич // Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія-2012): VIII міжнар. наук.-техн. конф., 9-11 жовтня 2012 р., м. Харків: зб. тез доп. – Харків: ННЦ "Інститут метрології". – 2012. – С. 520-523.

22 Малісевич В.В. Моделювання впливу параметрів природного газу на його теплопровідність для парціальних витратомірів / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Приладобудування: стан і перспективи: XII міжнар. наук.-техн. конф., 23-24 квітня 2013 р., м. Київ: зб. тез доп. – Київ: НТУУ КП. – 2013. – С. 253-254.

23 Малісевич В.В. Контроль метрологічних характеристик лічильників газу з урахуванням якісних параметрів робочого середовища / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: міжнар. наук.-практ. конф., 22-24 травня 2013 р., м. Львів: тези доп. – Львів: НУ "Львівська політехніка". – 2013. – С. 239-240.

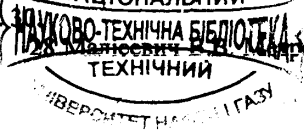
24 Малісевич В.В. Математична модель парціального витратоміра з корекцією щодо енергетичних характеристик природного газу / В.В. Малісевич // Нафтогазова енергетика-2013: міжнар. наук.-техн. конф., 7-11 жовтня 2013 р., м. Івано-Франківськ: зб. тез доп. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2013. – С. 265-268.

25 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., 8-11 жовтня 2013 р., м. Івано-Франківськ: зб. тез доп. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2013. – С. 161-163.

26 Малісевич В.В. Лабораторний стенд для експериментальних досліджень енергетичних характеристик плинних потоків при діагностуванні промислових лічильників газу / В.В. Малісевич // Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання: IV наук.-практ. конф., 26-27 листопада 2013 р., м. Івано-Франківськ: зб. тез доп. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2013. – С. 111-113.

27 Serediuk O. Investigation of the metrological characteristics of the natural gas flow rate standard based on variable pressure drop flowmeter / Orest Serediuk, Vitaliy Malisewych, Zygmunt Warsza // ISMQC 2013: 11th International Symposium on Measurement and Quality Control, 11-13 September 2013, Cracow-Kielce: Abstracts of the ISMQC 2013. – Kielce: University of technology (Польща). – 2013.

– Р. Малісевич В.В. Метрологічні дослідження парціального витратоміра /



В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Приладобудування: стан і перспективи: XIII міжнар. наук.-техн. конф., 23-24 квітня 2014 р., м. Київ: зб. тез доп. – Київ: НТУУ КПІ – 2014. – С. 227-228.

29 Малісевич В.В. Метрологічні дослідження ультразвукового фазово-імпульсного витратоміра / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк, Т.В. Лютенко // Метрологія-2014: IX міжнар. наук.-техн. конф., 15-16 жовтня 2014 р., м. Харків: наук. праці конф. – Харків: ННЦ "Інститут метрології". – 2014. – С. 399-402.

30 Малісевич В.В. Експериментальні дослідження функції передавання парціального витратоміра для діагностування лічильників газу / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: VII Міжнар. наук.-техн. конф., 25-28 листопада 2014 р., м. Івано-Франківськ: зб. матер. доп. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2014. – С. 261-266.

АНОТАЦІЯ

Малісевич В.В. Контроль енергетичної цінності природного газу із застосуванням термоанемометричних перетворювачів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу Міністерства освіти і науки України, Івано-Франківськ, 2015.

Дисертація присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання щодо розроблення методу та засобу для контролю енергетичної цінності природного газу шляхом вдосконалення пристроїв, які функціонують із застосуванням термоанемометричних перетворювачів.

Проведений аналіз сучасного стану наукового, нормативного і технічного забезпечення для визначення енергії і енергетичної цінності природного газу та обґрунтовано напрямки розроблення і вдосконалення засобів, які забезпечують можливість опосередкованого обліку енергетичної цінності природного газу. На основі математичного моделювання розроблено теоретичні засади функціонування термоанемометричного перетворювача у плинному і нерухомому середовищі природного газу. Розроблена математична модель взаємозв'язку енергетичної цінності природного газу з коефіцієнтом тепловіддачі термоанемометричного перетворювача, яка дає можливість реалізувати засоби потокового контролю енергетичної цінності природного газу з використанням термоанемометричних перетворювачів шляхом опосередкованого врахування теплофізичних характеристик природного газу.

Розроблено нові концептуальні технічні рішення пристроїв контролю енергетичної цінності природного газу. Проведений метрологічний аналіз витрато-термоанемометричних пристроїв контролю енергетичної цінності природного газу шляхом використання теорії невизначеності у вимірюваннях.

Розроблено та виготовлено лабораторну установку для визначення енергетичної цінності природного газу і проведені її лабораторні випробування

при контролі енергетичної цінності природного газу з теплою згорання 7759; 8145; 8538 ккал/м³ на витратах до 0,6 м³/год.

Ключові слова: природний газ, енергетична цінність, теплота згорання, перетворювач витрати, термоанемометричний перетворювач, невизначеність.

ABSTRACT

Malisevych V.V. Control of the energy value of natural gas with the use of thermoanemometrical converters. – In manuscript.

The dissertation is aimed at gaining the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences for speciality 05.11.13 – Instruments and methods of control and structure of material determination. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2015.

The dissertation is devoted to solution of current scientific and applied tasks of development the method and device to control the energy value of natural gas by improvement the devices that operate with the use of thermoanemometrical converters.

The analysis of the current state of scientific, normative and technical support to determine the energy and the energy value of natural gas is performed. The directions of development and improvement of devices that provide the ability to indirect calculation of the energy value of natural gas are proved. The theoretical principles of functioning of thermoanemometrical converter in movable and immovable environment of natural gas are developed and which are based on mathematical modeling. The mathematical model of the correlation of the energy value of natural gas with the heat transfer coefficient of thermoanemometrical converter, and it gives the possibility to realize the devices of streaming control of the energy value of natural gas with the use of thermoanemometrical converters by indirect accounting thermal characteristics of natural gas.

The new conceptual technical solutions of devices of control of the natural gas energy value are developed. The metrological analysis of flowrate and thermoanemometrical devices of control of natural gas energy value is conducted by using the theory of uncertainty in measurements.

The laboratory unit device for determining the energy value of natural gas is developed and manufactured. Its laboratory tests are conducted during the control of the energy value of natural gas with the heating value 7759; 8145; 8538 kcal/m³ and flowrate to 0.6 m³/h.

Key words: natural gas, energy value, heating value, flowrate converter, thermoanemometrical converter, uncertainty.

АННОТАЦІЯ

Малисевич В.В. Контроль энергетической ценности природного газа с использованием термоанемометрических преобразователей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава

веществ. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа Министерства образования и науки Украины, г. Ивано-Франковск, 2015.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи по разработке метода и средства для контроля энергетической ценности природного газа путем совершенствования устройств, функционирующих с применением термоанемометрических преобразователей.

Проведен анализ современного состояния научного, нормативного и технического обеспечения для определения энергии и энергетической ценности природного газа и обоснованы направления разработки и совершенствования средств, обеспечивающих возможность косвенного учета энергетической ценности природного газа. На основе математического моделирования разработаны теоретические основы функционирования термоанемометрического преобразователя в подвижной и неподвижной среде природного газа. Разработана математическая модель взаимосвязи энергетической ценности природного газа с коэффициентом теплоотдачи термоанемометрического преобразователя, которая дает возможность создавать средства потокового контроля энергетической ценности природного газа с использованием термоанемометрических преобразователей путем косвенного учета теплофизических характеристик природного газа.

Разработан статистически-регрессионный метод косвенного определения теплоты сгорания и плотности природного газа, который обеспечивает практическую реализацию термоанемометрического контроля по коэффициенту теплоотдачи термоанемометрического преобразователя, чем достигается возможность контроля энергетической ценности природного газа при различных значениях его давления и температуры.

Разработаны направления развития метода термоанемометрического контроля путем усовершенствования алгоритма определения коэффициента теплоотдачи термоанемометрического преобразователя с учетом его конструктивного исполнения, скорости и рабочих условий потока газа, чем обеспечивается практическая реализация потокового контроля энергетической ценности природного газа.

Разработаны новые концептуальные технические решения устройств контроля энергетической ценности природного газа. Проведен метрологический анализ расходомерно-термоанемометрических устройств контроля энергетической ценности природного газа путем использования теории неопределенности в измерениях.

Разработана и изготовлена лабораторная установка для определения энергетической ценности природного газа и проведены ее лабораторные испытания при контроле энергетической ценности природного газа с теплотой сгорания 7759; 8145; 8538 ккал/м³ при расходах до 0,6 м³/час.

Ключевые слова: природный газ, энергетическая ценность, теплота сгорания, преобразователь расхода, термоанемометрический преобразователь, неопределенность.