

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕРМОАНЕМОМЕТРІЇ У СФЕРІ ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Середюк О.Є., Криницький О.С., Ткачук В.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна, mivt@nung.edu.ua

Анотація

Сьогодення економії і раціонального використання енергетичних ресурсів актуалізує наукові дослідження у сфері вдосконалення засобів обліку природного газу. Одним із напрямків вирішення поставленої задачі може бути застосування термоанемометричного методу вимірювання витрати газових потоків, в тому числі природного газу.

Перевагами термоанемометричних витратомірів є широкий діапазон вимірюваних швидкостей витрати потоку, незначна інерційність застосовуваних термоелементів, яка обґрунтовує можливість вимірювання нестационарних і пульсуючих потоків, а також відсутність рухомих елементів у первинних перетворювачах. Найбільш суттєвим недоліком є нестабільність градувальних характеристик терморезисторів при їх функціонуванні за складних температурних режимів. Однак сучасні технології виготовлення таких сенсорів сприяють зменшенню вказаних недоліків, що відкриває нові аспекти їх застосування.

Однією із тенденцій розвитку термоанемометрії є конструктивне вдосконалення чутливих елементів, з врахуванням параметрів вимірюваного середовища. На практиці можуть бути використані терморезистори дротяний, напівпровідниковий та плівковий, кожен з яких характеризується особливостями застосування.

Тенденцією в термоанемометрії є розроблення витратомірів з частотно-часовими вихідними характеристиками та удосконаленням мікропроцесорних систем обробки інформації.

Тенденціями розвитку методу є розроблення нових побутових лічильників газу, наприклад типу ГОРН ПАТ “Енергооблік” (м. Харків). Фірмою Honeywell розроблено нові термосенсори, які забезпечують функціонування при малих витратах. Слід відзначити новий напрям наукових досліджень, які спрямовані на визначення якісних, в тому числі енергетичних характеристик природного газу.

Ключові слова: природний газ; термоанемометр; витрата; об’єм; теплота згорання

Постановка проблеми

Природний газ є основним енергоносієм України. Згідно даних НАК «Нафтогаз Україна» (рис. 1), за час незалежності України, споживання газу зменшилося, приблизно втричі. Промисловий та побутові сектори розвивалися за умов достатку природного газу та більше половини спожитого газу припадало на побутовий сектор. Цей факт визначає об’єм роботи, який необхідно виконати на шляху до енергоефективності та свідомого споживання природного газу [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Першими кроками до забезпечення енергоефективності споживання природного газу було прийняття національного стандарту ДСТУ ISO 15112:2009 «Природний газ. Визначення енергії» [2]. Який ввів поняття “енергія газу” та можливість обрахунку газу в “енергетичних одиницях” - МДж, Гкал, кВт·год.

Враховуючи енергетичну цінність газу, облік природного газу стане більш об’єктивним [3]. Адже показники енергетичної цінності природного газу будуть напряму залежати від характеристик газу та оточуючого середовища в якому він транспортується. Більша увага буде приділятися калорійності газу та встановленню відповідної плати за об’єм більш або менш калорійного газу.

Обсяг енергії природного газу – кількість теплової енергії, яка виділяється під час повного згорання вимірюваного об’єму природного газу [3].

Для визначення енергії природного газу необхідно попереднє приведення отриманого об’єму природного газу до стандартних умов та визначення теплоти згорання при цьому.

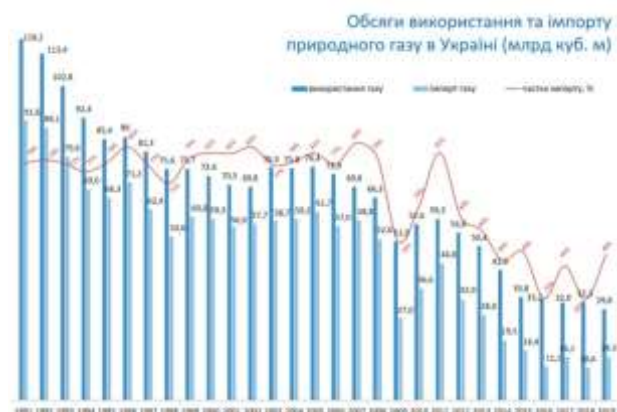


Рис. 1. Обсяги використання та імпорту природного газу в Україні [1]

Для визначення об’єму природного газу зведено до стандартних умов необхідне врахування показників оточуючого середовища, виходячи з фізичних властивостей газу, об’єм газу визначений лічильником може змінюватись відносно температури оточуючого середовища (при низькій температурі – стискатись, а за вищої – розширюватись). Для приведення газу до стандартних умов доцільно вводити коригувальні коефіцієнти, які враховують температурні показники оточуючого середовища та розташування лічильника [3].

Теплота згорання визначається переважно лабораторно методами хроматографії або калориметрії.

Дослідженням в сфері обліку природного газу та енергетичних характеристик природного газу за до-

помогою методів та засобів термоанемометрії викладено у роботах [4-7].

Точне визначення об'єму спожитого газу, є однією із основних складових питань енергетичного обліку природного газу.

Мета доповіді

Аналіз розвитку сучасних методів та засобів термоанемометрії при обліку природного газу.

Виклад основного матеріалу

Практичним і досить точним рішенням в питанні обліку газу є використання термоанемометричних витратомірів, які наділені широким діапазоном вимірювання швидкостей витрати потоку, можливістю вимірювання нестационарних та пульсуючих потоків та наділені малою інерційністю. Термоанемометри засновані на залежності між втратою тепла неперервно нагрітого тіла і швидкістю газу в якому це тіло знаходиться [8].

Значний вклад в розвиток термоанемометрії в сфері обліку газу зроблено вченими із Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Зокрема розроблено лабораторну установку для експериментальних досліджень енергетичної цінності природного газу методом термоанемометричного контролю [4]. Експериментально встановлено закономірності зміни вихідного сигналу вимірювача енергетичної цінності природного газу для діапазону теплоти згорання (7759 – 8538) ккал/м³ і на витратах до 0,6 м³/год. Викладені дослідження поклали основу для технічних рішень в побудові пристроїв для реалізації термоанемометричного методу контролю енергетичної цінності природного газу.

Технічне рішення в патенті [5] з використанням термоанемометра передбачає створення парціального витратоміра. В ньому напірна трубка закріплена в трубопроводі з приймачем повного та статичного тиску в стакані з встановленим пристроєм для ущільнення напірної трубки і пробковим краном для перекриття імпульсних ліній напірної трубки. Витратомір містить термочутливий сенсор з блоком для визначення теплопровідності природного газу, споряджений коректором на температуру і локальну швидкість робочого середовища. Термочутливий сенсор та приймачі повного і статичного тиску напірної трубки розміщені співвісно до умовно вибраної осі відносно перерізу трубопроводу з можливістю визначення локальної швидкості робочого середовища. Термочутливий сенсор розміщений після напірної трубки за напрямком потоку робочого середовища. Співвісне розміщення термочутливого датчика та напірної трубки дає можливість враховувати термодинамічні властивості робочого середовища в локальній точці визначення витрати [5].

Для вивчення можливостей практичного застосування термоанемометричного методу при контролі якості природного газу було проведено метрологічні дослідження вимірювання енергетичної цінності природного газу з використанням витратомірів змінного перепаду тиску [6]. Проведені дослідження невизначеності вимірювання енергетичної цінності природного газу обґрунтували можливість практичного використання обчислювачів енергетичної цінності приро-

дного газу на базі витратомірів змінного перепаду тиску. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення впливу компонентного складу природного газу на функціонування термоанемометричного перетворювача при різних параметрах природного газу з метою підвищення точності вимірювання енергетичної цінності.

Ще одне із патентозахищених рішень стосується пристрою для вимірювання витрати та енергетичної цінності природного газу [7]. Складається з витратоміра пневмометричного типу на базі модернізованої трубки Піто-Прандтля, яка в свою чергу складається із трубки повного тиску та трубки статичного тиску, яка виконана у вигляді кільцевої камери. Край трубки повного тиску співпадає з віссю центру трубопроводу та кільцевої камери. Температурний давач та дифманометричний перетворювач підключені імпульсними лініями до трубок повного і статичного тиску, до яких під'єднаний обчислювально-запам'ятовуючий блок. Особливістю конструкції є виконаний сенсора температури у вигляді поверхневого термо-перетворювача опору, напиленого на зовнішній поверхні трубки повного тиску на відстані від її торця, не меншій за п'ятикратний зовнішній діаметр трубки повного тиску. При цьому зовнішня поверхня напиленого шару термоперетворювача опору виконана у вигляді черв'яка із напівсферичних заглибин та виступів. За рахунок взаємодії термоперетворювача опору з середовищем газу формується сигнал, пропорційний теплотворній здатності газу. Виступи та заглибини є особливістю конструкції термоперетворювача, які посилюють конвективний теплообмін, та підвищують інформативність сигналу.

Однією із тенденцій розвитку термоанемометрії є конструктивне вдосконалення чутливих елементів, з врахуванням параметрів вимірюваного середовища. Залежно від умов застосування і поставленого завдання в якості чутливого елемента можуть бути використані терморезистори: дротяний, напівпровідниковий та плівковий [8].

Чутливим елементом дротяного перетворювача є тонкий та короткий провід з платини, вольфраму, нікелю. Кінці проводу приварюють до кінця двох манганінових стержнів, закріпленим до стійкої основи. Найбільшу температуру нагрівання проводу T_{II} допускає платина (до 1000 °C), вольфрам (600 °C), але задля зменшення зношуваності дроту його нагрівають на 20% менше від його максимальної температури нагрівання. Основним завданням удосконалення термочутливих дротяних перетворювачів є покращення характеристик дроту, яким нагрівається середовище. Зі збільшенням діаметру дроту збільшується міцність та стабільність чутливого елемента, а також збільшується можливість вимірювання малих швидкостей потоку. Водночас при цьому збільшується інерційність термоанемометра та зменшується його омичний опір. Для вимірювання місцевих швидкостей потоку використовують дріт з діаметром менше 0,1 мм, які є малоінерційні, але можуть піддаються руйнуванню за умови довгої тривалості використання в середовищі газового потоку.

Напівпровідникові терморезистори наділені простотою конструкції, механічною міцністю та високою чутливістю. Недостатня стабільність градування

зменшена. Можливість застосування в потоках з досить високою температурою, але постійна часу у них велика і в залежності від геометричних розмірів терморезистора складає 0,5-2,5с, що в свою чергу викликає недостовірність показів витратомірів в потоках з досить великою зміною параметрів потоку. Задля вирішення проблеми використовують схему з двох терморезисторів, один – для вимірювання, а другий для компенсації зміни температури потоку [8].

Плівковий перетворювач досить міцний та дозволяє вимірювати досить широкий спектр швидкостей газу від 1,5 м/с до 500 м/с при температурах до 500 °С. Їх інерційність трохи більша ніж у дротяних та збільшується зі зменшенням швидкості потоку [8].

Узагальненим завданням при розробленні та вдосконаленні чутливих елементів термоанемометрів можна вважати конструктивне удосконалення сенсорів та розширення діапазону вимірюваної величини з врахуванням параметрів середовища потоку.

Прикладом таких досліджень є розроблення інваріантного до температури доквілля термоанемометра [9] на основі сенсорів р-п переходу, які спроможні працювати в досить широкому температурному діапазоні, наділені досить малою споживаною електричною потужністю схеми. Але вони мають ряд недоліків, зокрема проблему уніфікації характеристик середовища з вихідним сигналом, досить високий рівень шумів, які вимагають подальших розробок щодо удосконалення математичних моделей передавальних характеристик сенсорів та вимірювальних систем загалом.

Також зразком комерційної розробки є високоточні сенсори витрати газу моделей Zephyr фірми "Honeywell". Основна особливість сенсорів цієї серії - наявність в структурі не тільки схем управління сесором і підсилювача диференціального сигналу з мостової схеми терморезисторів, а й спеціалізованої інтегральної мікросхеми для додаткової обробки сигналу. Ця мікросхема містить схеми управління нагрівачем, узгодження з термосенсором, модулі АЦП і ЦАП, а також мікроконтролер і цифровий інтерфейс I2C для зв'язку з керуючим мікроконтролером вимірювальної прилади. Це забезпечує можливість калібрування і термокомпенсації сигналу в діапазоні температур від 0 до +50 °С [10]. Недоліком цих сенсорів є висока чутливість до забруднення середовища потоку та його режиму, що буде призводити до збільшення похибки сенсора.

Прикладом реалізації практичного застосування термоанемометрії може бути лічильник газу ГОРН [11], який призначений для вимірювання об'єму природного газу або скрапленого вуглеводневого газу на об'єктах житлово-комунального господарства і в побуті з можливістю передачі інформації в централізовану систему обліку. Принцип дії лічильника заснований на термоанемометричному методі вимірювання витрати об'єму газу, що пройшов через лічильник. Лічильник ГОРН дозволяє дистанційно передавати дані. Лічильник оснащений аварійним сповіщенням при різного роду відхиленні та спроб доступу до переданої інформації. Інформація передається захищеним каналом в зашифрованому вигляді. Даний лічильник розширює можливості вимірювальних систем на новий рівень з можливістю безконтактного моніто-

рингу та контролю споживання газу в побутовому секторі.

Напівпровідниковий термоанемометр [12], забезпечує вимірювання малих швидкостей потоку газу (до 0,2 м/с). В основі напівпровідникового термоанемометра міститься чутливий елемент з ниткоподібного монокристала твердого розчину Si-Ge, в якому внаслідок підбору певного складу твердого розчину Si-Ge за критерієм електричних параметрів забезпечується утворення випрямних структур і за рахунок цього підвищується чутливість до малих швидкостей потоку. Недоліком даного рішення є достатня складність при градуванні за відносно низьких швидкостей потоку і, як наслідок, обмеженої можливості використання в трубопроводах з малими швидкостями потоку газу.

Відомий також патент на корисну модель парціального витратоміра [13], в обвідному трубопроводі якого встановлений термочутливий давач напірної трубки з двома кранами для перекривання потоку робочого середовища в обвідному трубопроводі, в якому також встановлені сенсори тиску та температури робочого середовища. Сам блок визначення теплопровідності робочого середовища обладнаний додатковим коректором тиску робочого середовища. Обвідний трубопровід у витратомірі дозволяє робити забір природного газу безпосередньо з основного трубопроводу для визначення теплофізичних параметрів газу за рахунок встановленого в ньому термочутливого сенсора. Розташування термочутливого сенсора в обвідному трубопроводі виключає безпосередній вплив потоку газу на сенсор, що зумовлює підвищення точності сенсора при визначенні теплофізичних характеристик газу за рахунок зведення до мінімуму впливу параметрів потоку відносно сенсора. Встановлення термочутливого блока для визначення теплопровідності у обвідному трубопроводі дозволяє спростити конструкцію парціального витратоміра, оскільки відсутня потреба доповнення напірної трубки термочутливим давачем з вивідними під'єднувальними провідниками.

Новий крок в розширенні термоанемометрії при обліку природного газу викладено в патенті на лічильник газу [14]. В корпусі мембранного газового лічильника, на випускному отворі розташований вимірювальний елемент, в корпус якого вбудований мікротермічний витратомірний сенсор. Високоточний сенсорний вимірювальний пристрій вбудований в мембранний газовий лічильник і використовується замість механічного мембранного вимірювального елемента. В порівнянні з механічними мембранними вимірювальними елементами сенсорні вимірювальні пристрої можуть визначати й інші вимірювані величини, а не тільки чистий потік, наприклад, склад газу, відповідно, можливі забруднення та інші параметри в потоці газу. Мікротермічний витратомірний сенсор створений по технології CMOS, та працює за принципом термоанемометрії. Сенсор розташований поблизу заднього кінця байпасної ділянки, таким чином, що перед сенсором міститься впускна ділянка трубопроводу достатньої довжини, на якій відбувається заспокоювання потоку. В лічильнику міститься перемикальний клапан, що керується радіосигналом задля контролю подачі газу. Лічильник наділений бездротови-

ми технологіями передачі даних результатів вимірювання.

Також запатентовано спосіб вимірювання потоку газів та рідин [15] для підвищення точності та розширення діапазону вимірювання потоку газів та рідин шляхом створення та підтримання релаксаційних періодичних автоколивань температури нагрівача та теплового сенсора і вимірювання частоти цих автоколивань за рахунок створення лінійної характеристики перетворення в широкому діапазоні величин потоку. Проблемою даного методу є те що, для отримання максимальної точності в широкому діапазоні вимірюваних потоків, нагрівач та тепловий сенсор повинні мати мінімальні геометричні розміри та теплоємність при максимальному відношенні площі до об'єму, щоб не вносити похибки за рахунок теплової інерційності.

Прикладом закордонних патентів США [16] є витратомір для вимірювання руху газу в трубопроводі з використанням множини поперечно встановлених термоанемометричних сенсорів. Пристрій розраховує середнє значення швидкості потоку та об'ємну витрату газу. Недоліком даного способу є наявність суттєвих спотворень поля швидкостей потоку через необхідність розміщення в поперечному перерізі трубопроводу декількох сенсорів. Розподілення швидкості потоку газу в місці розташування сенсорів є досить спотвореним, і зумовлено завихреннями, що утворюють сенсори в поперечному перерізі труби. Витратоміром обчислюється не тільки інтегральне значення витрати, а середнє значення швидкості потоку. Як недолік – монтування витратоміра складне та затратне внаслідок великої кількості сенсорів і конструктивної складності виготовлення.

Нововведенням в сфері обліку є патентне рішення для вимірювання потоку рідини за допомогою оптоволокна [17]. Для забезпечення вимірювання параметрів потоку запропоновано використовувати нагріте оптоволокно, розташоване по довжині потоку. В залежності від розподілу температури по довжині чутливого елемента визначаються параметри променя відносно розігрітої поверхні, що відкриває можливість визначення різних параметрів та ситуацій в потоці. Основною особливістю даного методу є можливість застосування в нафтових та газових свердловинах без використання безпосереднього нагрівання

струмом, а за рахунок поглинання променя світла оптоволоконном. Метод дозволяє визначати наявність потоку в свердловині, пробіає в трубопроводі, адже відносно цього буде зменшуватись значення температури на відповідній ділянці сенсора. Сенсор досить варіативний до покриття та можливості додаткової ізоляції. Недоліком є складність в математичній та алгоритмічній обробці даних відносно великої довжини проводу, що вимагає досить потужних обчислювальних систем з прорахуванням всіх можливих варіантів в потоці того чи іншого середовища.

Висновки

Шляхи розвитку термоанемометрії зосереджені у вдосконаленні методик вимірювання, безпосередній розробці вимірювальних сенсорів, витратовимірювальних установок та систем на їх базі (рис. 2).



Рис.2. Тенденції розвитку термоанемометрії у сфері обліку природного газу

Концептуально розв'язуються нові підходи до моделювання процесу потоку, розподіленню швидкостей та взаємодії вимірювальних термоанемометричних сенсорів опираючись на характеристики газу, враховуючи густину потоку, компонентний склад. Також важливим є дослідження теплоємності та теплопровідності газового середовища при функціонуванні термоанемометричних перетворювачів. Дослідження витрати газу має проводитись багатопараметрично, досліджуючи газовий потік як середовище зі складовими та параметрами змінюваними в часі. Встановлення аналітичних залежностей між вхідними та вихідними параметрами газу дасть можливість тривимірно досліджувати газ як середовище, а термоанемометричний сенсор служитиме інструментом для його дослідження.

Abstract

The current economy and rational use of energy resources updates research in the field of improving natural gas metering. One of the ways to solve this problem may be the use of thermoanemometric method of measuring the flow of gas flows, including natural gas.

The advantages of thermoanemometric flow meters are a wide range of measured flow rates, low inertia of the thermoelements used, which justifies the possibility of measuring non-stationary and pulsating flows, as well as the absence of moving elements in the primary transducers. The most significant disadvantage is the instability of the calibration characteristics of thermistors during their operation at complex temperatures. However, modern technologies for the manufacture of such sensors help to reduce these shortcomings, which opens up new aspects of their application.

One of the trends in the development of thermoanemometry is the constructive improvement of sensitive elements, taking into account the parameters of the measured environment. In practice, wire, semiconductor and film thermistors can be used, each of which is characterized by the peculiarities of application.

The trend in thermoanemometry is the development of flow meters with frequency-time output characteristics and the improvement of microprocessor information processing systems.

Trends in the development of the method are the development of new household gas meters, such as GORN PAT "Enegooblik" (Kharkov). Honeywell has developed new thermal sensors that ensure low-cost operation. It should be noted a new area of research aimed at determining the quality, including energy characteristics of natural gas.

Keywords: natural gas; thermoanemometer; flow rate; volume; heat of combustion.

Аннотация

Настоящее экономии и рационального использования энергетических ресурсов актуализирует научные исследования в области совершенствования средств учета природного газа. Одним из направлений решения поставленной задачи может быть применение термоанемометрического метода измерения расхода газовых потоков, в том числе природного газа.

Преимуществами термоанемометрических расходомеров является широкий диапазон измеряемых скоростей расхода потока, незначительная инерционность применяемых термоэлементов, которая обосновывает возможность измерения нестационарных и пульсирующих потоков, а также отсутствие подвижных элементов в первичных преобразователях. Наиболее существенным недостатком является нестабильность градуированных характеристик терморезисторов при их функционировании в сложных температурных режимах. Однако современные технологии изготовления таких сенсоров способствуют уменьшению указанных недостатков, открывает новые аспекты их применения.

Одной из тенденций развития термоанемометрии является конструктивное совершенствование чувствительных элементов, с учетом параметров измеряемой среды. На практике могут быть использованы терморезисторы проволочный, полупроводниковый и пленочный, каждый из которых характеризуется особенностями применения.

Тенденцией в термоанемометрии является разработка расходомеров с частотно-временными выходными характеристиками и совершенствованием микропроцессорных систем обработки информации.

Тенденциями развития метода является разработка новых бытовых счетчиков газа, например типа ГОРН ПАО "Энергоучет" (г. Харьков). Фирмой Honeywell разработаны новые термосенсоры, обеспечивающих функционирование при малых затратах. Следует отметить новое направление научных исследований, направленных на определение качественных, в том числе энергетических характеристик природного газа.

Ключевые слова: природный газ, термоанемометр, расход, объем, теплота сгорания.

Список літератури

1. Обсяги використання газу. URL: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/8B3289E9F4B2CF50C2257F7F0054EA23?OpenDocument&Expand=7&>
2. Природний газ. Визначення енергії: ДСТУ ISO 15112:2009. [Чинний від 2011-01-01]. К.: Держпоживстандарт України, 2010. 48 с. (Національний стандарт).
3. Що таке Енергетичні одиниці. URL: <https://104.ua/ua/gas/id/scho-take-energetichni-odinici-21370#sub21372>
4. Малісевич В.В., Середюк О.Є. Експериментальні дослідження термоанемометричного витратоміра при обліку природного газу за його енергетичною цінністю. *Методи та прилади контролю якості*. 2014. № 2 (33). С. 78–85.
5. Парціальний витратомір / О.Є. Середюк, В.В. Малісевич: пат. 99887 С2 Україна: МПК G01F 1/00 (2012.01). № а201114278; заявл. 02.12.11; опубл. 10.10.12, Бюл. № 19.
6. Середюк О.Є., Малісевич В.В., Середюк Д.О., Малісевич Н.Н. Метрологическая модель измерения энергетической ценности природного газа с использованием расходомеров переменного перепада давления. *Системи обробки інформації*. 2016. Вип. 6 (132). С. 139–142.
7. Пристрій для вимірювання витрати та енергетичної цінності природного газу / М.П. Кулик, О.Є. Середюк, Ю.З. Вашкурак, В.М. Мойсишин: пат. 117197 Україна: МПК (2006) G01N 25/20 (2006.01), G01F 1/46 (2006.01), G01F 22/00, G01K 17/08 (2006.01). № а 201704087; заявл. 24.04.2017; опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12
8. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2 СПб.: Политехника, 2004. 412 с.
9. Обух І.Я., Яцук Ю.В., Олеськів Т.М. Інваріантний до температури докільця термо-анемометр для побудови газових лічильників. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. № 70. С. 4–9. С. 4–9.
10. Шемякин С. В. Высокоточные датчики расхода газа семейства Zephyr компании Honeywell. *Компоненты и технологии*. 2012. №5. С. 27–32
11. Стеценко А. А., Недзельский С. Д., Павленко М. А. Побутові лічильники газу – ГОРН. *Приладобудування: стан і перспективи*: зб. тез доп. XVII міжнар. наук.-техн. конф., 15–16 травня 2018 р., Київ: НТУУ “КПІ” ПБФ, 2018. С. 207–208.
12. Напівпровідниковий термоанемометр / О.П. Карасьов, Д.М. Новицький, Р.І. Байцар, С.С. Варшава: пат. 21771 Україна: МПК G01K 5/00. № 21771; заявл. 05.09.1994; опубл. 30.04.1998, Бюл. № 2.
13. Парціальний витратомір / О.Є. Середюк, В.В. Малісевич: пат. 91778 U Україна: МПК G01F 1/00 (2014.01). № u201402428; заявл. 11.03.2014; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.
14. Лічильник газу / Лахер Штеффен, Ефф Ульріх, Браун Роберт.: пат. 110804 С2 Україна: МПК G01F 1/684, G01F 3/22, G01F 15/00 (2016.01). № а201305704; заявл. 12.08.2013; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4.
15. Спосіб вимірювання потоку газів та рідин / В.Ф. Заворотний: пат. 96834 Україна: МПК: G01F 1/68. № а201003532; заявл. 26.03.2010; опубл. 12.12.2011, Бюл. № 23.
16. Flowmeter / Kazumitsu Nukui, Fujisawa; Toshiharu Saito, Ageo; Tokudai Neda, Tokyo, all of Japan, USA US5861556A, Int. Cl. G01F 1/68, Date of Patent: Jan. 19, 1999.
17. Fluid flow measurement using optical fibres / Rogerio Ramos, USA US 7430903 B2, Int. Cl. G01F 1/68, Date of Patent: Oct. 7, 2008.