

ІНВАРІАНТНИЙ ДО ТЕМПЕРАТУРИ ДОВКІЛЛЯ ТЕРМОАНЕМОМЕТР ДЛЯ ПОБУДОВИ ГАЗОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ

Проаналізовано методи побудови газових лічильників, показано перспективи термоанемометричних методів їх побудови. Подано структуру та статичну характеристику перетворення термоанемометра. На підставі аналізу похибок запропоновано умови забезпечення інваріантності функції перетворення термоанемометра до зміни умов довкілля. Проаналізовано результати експериментальних досліджень макету термоанемометра для створення побутового газового лічильника

Ключові слова: газовий лічильник, термоанемометр, статична характеристика, інваріантність функції перетворення, температура довкілля

Проанализированы методы построения газовых счетчиков, показаны перспективы термоанемометрических методов их построения. Представлены структура и статическая характеристика преобразования термоанемометра. На основании анализа погрешностей предложены условия обеспечения инвариантности функции преобразования термоанемометра к изменению условий окружающей среды. Проанализированы результаты экспериментальных исследований макета термоанемометра для создания бытового газового счетчика

Ключевые слова: газовый счетчик, термоанемометр, статическая характеристика, инвариантность функции преобразования, температура окружающей среды

І. Я. Обух
Аспірант*

E-mail: metrollog@ya.ru

Ю. В. Яцук

Кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри**

E-mail: jurgen.jazuk@gmail.com

Т. М. Олесків

Аспірант*

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

E-mail: Taras_Oleskiv@ukr.net

*Кафедра Метрології,
стандартизації та сертифікації***

Кафедра комп'ютеризованих систем автоматизиції*

***Національний університет «Львівська політехніка»

1. Вступ

Сучасний стан газовимірювальної техніки в народному господарстві України не задовольняє вимог, що виникли у зв'язку з ситуацією, яка склалася в Україні з постачанням та споживанням газу. Це викликано в першу чергу тим, що безперервно зростають вимоги до точності засобів вимірювальної техніки обліку газу, оскільки витрата газу є параметром не стільки технологічним, як комерційним [1]. Якісні показники існуючих лічильників газу, що експлуатуються на сьогодні в Україні, у значній мірі не відповідають сучасним вимогам через невисокі метрологічні характеристики, а також неможливість реалізації в них вимог низки нормативних документів (Постанова Кабінету Міністрів України від 9 грудня 1999 р. № 2246 «Про затвердження Правил надання населенню послуг з газопостачання», «Про здійснення заходів щодо забезпечення обліку об'єктів газопостачання, які використовуються для розподілу природного газу») [2]. Актуальність проблеми комерційного обліку підкреслюється ще й

постійним зростанням тарифів на газ (сучасна ціна на газ становить 1,182 грн./м³, що в 1,5 рази більше від попередньої 0,7254 грн./м³ з тенденцією до досягнення середньоєвропейської [3]).

2. Аналіз публікацій та постановка проблеми

Питання збереження енергоносіїв є актуальним для будь-якої держави, і для України зокрема, оскільки в побуті та практично у всіх сферах промисловості використовують газоспоживні технології і на сьогоднішній день проблема використання природного газу постає особливо гостро.

Згідно з рішенням Національної комісії з регулювання у сфері енергетики, при використанні природного газу для приготування їжі і підігріву води в багатоквартирних будинках, ціна на газ складає за наявності газових лічильників – 1182 грн. за 1 тис. м³; за їх відсутності – 1299 грн. за 1 тис. м³. За умови, що обсяг споживання природного газу не перевищує 2,5 тис. кубів на рік ціна на газ складає за наявності

газових лічильників – 1089 грн. за 1 тис. м³; за їх відсутності – 1197 грн. за 1 тис. м³. При зростанні обсягу споживання природного газу, але не більше 6 тис. кубів на рік ціна на газ складе за наявності газових лічильників - 1788 грн. за 1 тис. м³; за їх відсутності – 1965 грн. за 1 тис. м³. Якщо ж обсяг споживання природного газу перевищує 6 тис. м³ на рік, то ціна на газ складе за наявності газових лічильників 3645 грн. за 1 тис. м³; за їх відсутності – 4011 грн. за 1 тис. м³ [3]. Нагадаємо, що Кабінет міністрів України затвердив і остаточний графік підвищення тарифів на природний газ для населення до 2017 року залежно від обсягів річного споживання. Згідно з цим документом, Кабмін пропонує встановити протягом 2015–2017 років диференційовані роздрібні ціни на природний газ, що використовується для потреб населення, залежно від річного обсягу і видів споживання. Зокрема, передбачено наступний графік підвищення цін на газ: з 1 травня 2015 року – на 40 %; з 1 травня 2016 року – на 20 %; з 1 травня 2017 року – на 20 % [3]. У результаті мінімальна вартість 1000 м³ становитиме у 2017 р. вже 2983 грн., або зросте у 2,5 рази в порівнянні із 2014 роком.

Особливу роль відіграє точність обліку обсягу транспортованого газу у промисловій сфері. Так, наприклад, підвищення точності вимірювання кількості газу, що поступає в Україну з Росії, всього лише на 0,1 % заощадує Україні понад 10 млн. дол. США в рік. Україна, завдяки власному газовидобуванню, здатна покрити ним свої потреби лише на (18–20) %, іншу ж частину (80–82) % доводиться імпортувати. На сьогоднішній день, при імпорті 40 мільярдів кубічних метрів ціною 500 \$ за 1000 м³, похибка вимірювання лише в ± 1 % у грошовому еквіваленті може становити 200 мільйонів доларів, що й зумовлює економічні зловживання [4].

Переговори щодо узгодження ціни на газ між Україною і Росією зайшли в глухий кут. Керівництво «Газпрому» заявило про переведення України на передоплату при постачанні російського газу [5]. У зв'язку з важкою ситуацією, яка складається в Україні з Росією українське керівництво шукає вихід у реверсних поставках з Європи та всесторонньої економії природного газу [5].

Одним із найважливіших завдань при вирішенні цієї проблеми є точний облік природного газу як в промисловій, так і комунально-побутовій сфері. Зважаючи на широке застосування та високу вартість природного газу в комунально-побутовій сфері в більшості споживачів встановлені побутові лічильники газу різних типів.

Використання великої кількості витратомірів змінного перепаду тиску для обліку газу (понад 90 %) в промисловості України привело до зменшення достовірності обліку газу, бо основна маса таких витратомірів, що знаходяться в експлуатації, є морально відсталими, з низьким класом точності. Сумарна похибка обліку газу такими витратомірами складає $\pm(4-6)$ % і не відповідає вимогам наказу Держкомнафтогазу № 355 від 01.11.94, у відповідності з яким при взаєморозрахунках забороняється використовувати прилади обліку газу, сумарна похибка яких перевищує ± 1 %.

Необхідно відмітити, що в останні роки збільшилась кількість підприємств, що готуються випускати турбінні та роторні лічильники [6].

У побуті для обліку газу застосовують понад півтора мільйона мембранних та роторних лічильників газу, в основному з відносними похибками ± 2 % та ± 3 %. В даний час у Державний реєстр України ЗВТ занесені понад 60 типів та типорозмірів побутових лічильників газу, що імпортуються та виробляються 14 підприємствами України.

Ряд підприємств України почали освоювати лічильники газу, що працюють за іншими принципами дії. Це в першу чергу ультразвукові лічильники [7], які приводять автоматично виміряний об'єм до стандартних умов не тільки по температурі та тиску, а і по густині газу.

Прошли державні приймальні випробування термоанемометричні лічильники газу, які проводять температурну компенсацію показів та можуть працювати в системах телеметрії з використанням кредитних карток, мають аварійний клапан, який може дистанційно перекрити вхід лічильника при підвищенні температури, при відсутності оплати або за будь-якої іншої потреби. В Україні також розроблені побутові лічильники газу турбінного типу [8]. Аналогів у цій галузі застосування таким лічильникам немає.

Одним із шляхів підвищення достовірності обліку газу в побуті є підвищення точності лічильників газу та впровадження лічильників з температурною компенсацією та компенсацією по тиску.

Сьогодення України вимагає якнайширшого застосування як газоощадних технологій, так і точних засобів обліку споживання природного газу, про що свідчить безупинне зростання, передусім останніми роками, технічних і метрологічних вимог до лічильників і витратомірів природного газу, постійне подорожання газу, можливість відключення газу від газопостачальних технологій [9]. Також слід відмітити, що на сьогоднішній день одним з основних питань метрологічного забезпечення є питання достовірного визначення кількості спожитого газу, оскільки його економічне і раціональне використання було і залишається актуальним у сфері енергообліку і енергоощадливості [10].

Для забезпечення надійного та точного обліку газу, як мінімум, необхідно вирішити такі складові завдання: вдосконалити технічну базу, яка містить певні технічні засоби обліку газу; розробити і ввести в дію відповідну нормативну базу; вирішити питання, які пов'язані із кадровим забезпеченням процесу обліку та вимірювання витрати газу.

3. Мета роботи та задачі дослідження

Метою роботи є розроблення пропозицій щодо вдосконалення методів побудови лічильників газу, а також розроблення науково-технічних засад обліку природного газу з покращеними метрологічними характеристиками. Насамперед, це врахування температури і тиску газового потоку та густини газу при підрахунку вартості наданої послуги, можливість

фіксації в реальному масштабі часу перерв у наданні послуг з газопостачання з відповідним перерахуванням їх вартості [11].

При цьому доцільно також зробити метрологічне прогнозування похибки газових лічильників у залежності від часу їх експлуатації та результатів попередніх повірок. Слід розробити пропозиції щодо побудови термоанемометричних газових лічильників високого класу точності. На підставі аналізу похибок запропонувати умови забезпечення інваріантності функції перетворення термоанемометра до зміни умов довкілля. Проаналізувати результати експериментальних досліджень макету термоанемометра для створення побутового газового лічильника.

4. Шляхи вдосконалення газових лічильників

На сьогоднішній час існує багато методів побудови газових лічильників [12]. Необхідно відмітити, що в останні роки збільшилась кількість підприємств, що готуються випускати турбінні та роторні лічильники. Проведені державні приймальні випробування турбінних лічильників газу, освоюються турбінні лічильники, проводять випробування турбінних лічильників газу різні підприємства, які також готуються виготовляти і роторні лічильники газу фірми „Інструмент Інтернаціонал” (Бельгія). У побуті для обліку газу застосовують понад півтора мільйона мембранних та роторних лічильників газу, в основному з межею допустимих значень відносних похибок $\pm 2\%$ та $\pm 3\%$. В даний час у Державний реєстр України ЗВТ внесені понад 60 типів та типорозмірів побутових лічильників газу, що імпортуються та виробляються 14 підприємствами України, але всі ці лічильники мають такі ж межі допустимих значень похибок $\pm(2-3)\%$. Низка підприємств України почали освоювати лічильники газу, що працюють за іншими принципами дії. Це в першу чергу ультразвукові лічильники, які приводять автоматично вимірний об'єм до стандартних умов не тільки за температурою та тиском, а і за густиною газу. Але основним недоліком ультразвукових лічильників є висока ціна, внаслідок чого впливає неможливість їх встановлення всіма верствами населення. В Україні також розроблені побутові лічильники газу турбінного типу, яким аналогів у цій галузі застосування немає [4]. Одним із шляхів підвищення достовірності обліку газу в побуті є підвищення точності лічильників газу та впровадження лічильників з температурною компенсацією та компенсацією за тиском.

З огляду існуючих методів та засобів побудови побутових газових лічильників можна зробити висновки, що термоанемометричний метод у найбільшій мірі відповідає поставленій меті завдяки його потенційно високій точності та можливості забезпечення відносно невеликих масогабаритних показників. Серед сучасних термоанемометрів на практиці найширше для вимірювання параметрів газових середовищ застосовуються термоанемометри постійної температури (ТАПТ). Відомо, що зміна температури газового потоку на практиці у найбільшій мірі погіршує метрологічні параметри ТАПТ. Виявляється, що

при зміні температури газового потоку θ_x відносна похибка у визначенні швидкості складає $\pm(1-4)\%/K$ [13]. Для значних змін температури газу в побутових лічильниках від $-40^\circ C$ до $+50^\circ C$ по відношенню до температури $\theta_k = +20^\circ C$, при якій ТАПТ був проградунований, похибки визначення швидкості газового потоку стають неприпустимо великими. Таким чином, дуже важливо в побутовому газовому лічильнику забезпечити інваріантність до зміни температури газового потоку. Слід також звернути увагу на пожежо- та вибухобезпечність газового лічильника, яка потребує вибору мінімально можливих потужностей та температур перегріву сенсора. З огляду на це, як нагрівачі доцільно використати малопотужні транзистори, які можуть бути перегріті на різницю температур до $50^\circ C$ при виділенні в їх об'ємі електричної потужності лише декілька часток вата. Відповідно, при на порядок меншій потужності, як покаже аналіз рівняння теплового балансу і перегрів буде на порядок меншим. Отже, якщо використати діодний кремнієвий нагрівач та з огляду безпечності його експлуатації вибрати значення максимально можливих напруг $U_{max} \leq 12$ В та струму $I_{max} \leq 20$ мА, то максимальне значення потужності перегріву не перевищуватиме $P_{max} = U_{max} \cdot I_{max} = 240$ мВт [14].

Основним недоліком існуючих лічильників газу є досить велика похибка, тому актуальним є суттєве її зменшення до значень не вищих $\pm 0,5\%$, що дасть змогу відчутно економити під час обліку. З цією метою пропонується використати для побудови термоанемометричного газового лічильника сенсори на основі р-п-переходу або плівкові малогабаритні платинові термоперетворювачі опору [15]. Мікроелектронні р-п сенсори температури дають принципову можливість суттєвого зменшення споживаної потужності в термоанемометричних лічильниках. Нелінійність сенсорів на основі р-п переходу близька до нелінійності термометрів опору і не вимагає складних схем лінеаризації [16], але основним їх недоліком є великий технологічний розкид. Тому основна увага зосереджена на обговоренні необхідності використання методів уніфікації їх характеристик з модуляцією вимірюваного струму або усереднення характеристик декількох паралельно або послідовно увімкнених сенсорів.

Існуючі термоанемометри мають велику температурну інерційність, на їх покази впливає температура зовнішнього середовища, аналогова форма сигналу на виході, що не дозволяє здійснювати вимірювання з високою точністю. Враховуючи ці недоліки для розробки побутового витратоміра газу було закладено такі засади: мала теплова інерційність; незалежність показів термоанемометра від змін температури довкілля; для підвищення точності вимірювань вихідний сигнал анемометра повинен мати часову або частотну форму; чутливий елемент анемометра повинен мати малу вартість. Щоб задовольнити ці вимоги для створення анемометра був запропонований метод, суть якого полягає в наступному (рис. 1).

Невелике за розмірами і масою тіло, що здатне швидко змінювати свою температуру, нагрівається до температури θ_{TA} , що перевищує температуру потоку θ_{PT} . Після цього нагрівання призупиняється і тіло буде охолоджуватись.

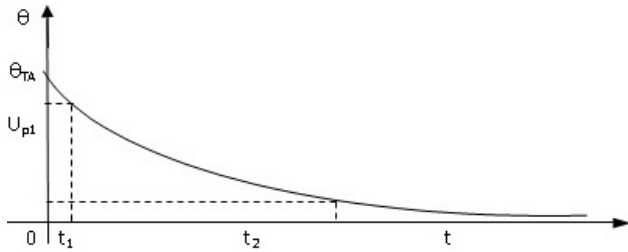


Рис. 1. Зміна температури тіла під час охолодження

5. Структурна схема термоанемометра, інваріантного до зміни температури газового потоку

Однією з центральних проблем під час побудови термоанемометрів є забезпечення заданого значення його температури нагрівання θ_{TA} та забезпечення інваріантності результатів вимірювання до значень температури θ_{PT} , які можуть змінюватись під впливом умов довкілля. На сучасному етапі за наявності малогабаритних температурних сенсорів перевагу слід віддати методам непрямого підігріву, оскільки й нагрівальні елементи при потужностях не більших від декількох сотень міліват можуть бути також малогабаритними, наприклад, резистори або транзистори, конструктивно призначені для поверхневого монтажу. Однак, практично незалежно від режиму роботи - безперервного або імпульсного, дуже важливим є забезпечення інваріантності до змін температури θ_{PT} газового потоку [17]. Аналіз методів побудови інваріантних до зміни температури газового потоку термоанемометрів показав, що вони на загал будуються на основі мостових схем, які через свої додаткові не лінійності практично унеможливають їх реалізацію [18]. Для вирішення цих проблем була розроблена структура термоанемометра, подана на рис. 2.

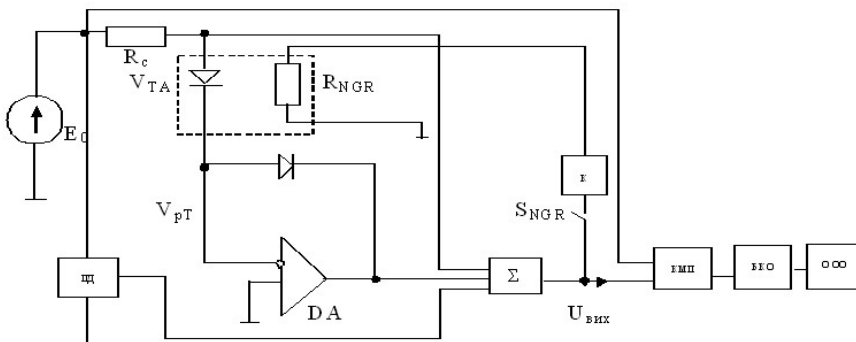


Рис. 2. Структурна схема термоанемометра, інваріантного до зміни температури газового потоку

Напівпровідникові чутливі елементи V_{TA} та V_{PT} знаходяться в потоці газу і розміщені, відповідно, біля нагрівача. R_{NGR} , який при замкненому ключі S_{NGR} розігріває сенсор термоанемометра до температури θ_{TA} та перед нагрівачем, набуває температуру потоку θ_{PT} . Під час нагрівання замкнений ключ S_{NGR} та через

опір R_{NGR} протікає струм, що надає сенсору температуру θ_{TA} . Вимірювальний струм I_{TA} термоанемометра протікає від джерела опрної напруги E_0 (ДОН) через струмозадавальний резистор R_c , сенсори V_{TA} та V_{PT} , на яких з допомогою перетворювача струм-напруга формуються протиполярні спади напруги U_{TA} та U_{PT} , що подаються до суматора Σ . На третій вхід суматора Σ з подільника ПД подається частина напруги E_0 . Вихідна напруга суматора $U_{вих}$ підсилюється підсилювачем K та створює в нагрівачі R_{NGR} таку електричну потужність, яка розігріває сенсор V_{TA} до температури θ_{TA} . Під час розмикання ключа S_{NGR} вихідна напруга суматора $U_{вих}$ подається до компаратора КМП, в якому формуються дві порогові напруги U_{p1} та U_{p2} . Після першого спрацювання компаратора КМП при $U_{вих}=U_{p1}$ починає формуватися інформативний проміжок часу до моменту другого спрацювання компаратора при $U_{вих}=U_{p2}$.

Під час розігріву сенсора V_{TA} значення вихідної напруги суматора $U_{вих}$ (при умові що коефіцієнти передавання суматора за першими двома входами однакові і рівні K_{Σ} , коефіцієнти чутливості обох сенсорів однакові $\alpha_{TA}=\alpha_{PT}$) знаходиться

$$U_{вих} = K_1 \cdot \left[I_{TA} \cdot (R_{BPT} - R_{BTA}) + (U_{0TA} - U_{0PT}) - \alpha_{TA} \cdot \left(\theta_{TA} - \theta_{PT} - \frac{E_0}{\alpha_{TA}} \cdot K_{ПД} \cdot K_{C3} \right) \right], \quad (1)$$

де K_{C1} , K_{C2} , $K_{\Sigma}=K_{C1}=K_{C2}$, K_{C3} - відповідно коефіцієнти передавання суматора за усіма трьома входами; $U_{TA} = U_{0TA} - \alpha_{TA} \cdot \theta_{TA} + I_{TA} \cdot R_{BTA}$, $U_{PT} = U_{0PT} - \alpha_{PT} \cdot \theta_{PT} + I_{PT} \cdot R_{BPT}$ - спади напруги на сенсорах V_{TA} та V_{PT} ; U_{0TA} , U_{0PT} - початкова напруга відповідно діод них сенсорів V_{TA} та V_{PT} ; α_{TA} , α_{PT} - коефіцієнт чутливості відповідно діод них сенсорів V_{TA} та V_{PT} ; R_{BTA} , R_{BPT} - опір бази відповідно діод них сенсорів V_{TA} та V_{PT} ; E_0 - значення напруги ДОН; $K_{ПД}$ - коефіцієнт поділу подільника ПД.

З допомогою підсилювача K в нагрівачі R_{NGR} створюється потужність $P_{NGR} = K \cdot U_{вих}^2 / R_{NGR}$, яка розігріває сенсор V_{TA} до температури θ_{TA} , при якій значення вихідної напруги прямує до рівня похибки статизму підсилювача.

Після встановлення значення температури θ_{TA} ключ S_{NGR} розмикається та починається процес вистигання сенсора V_{TA} . Зазвичай, при цьому термоанемометр слід розглядати як систему з тепловою інерційністю, в якій простежується відносно короткотривалий дорегулярний режим, пов'язаний з перерозподілом температур в об'ємі самого термоанемометра і встановлення градієнтів температури, відповідних однонаправленому тепловому потоку [19]. В регулярному режимі термоанемометр з певною сталою часу встигає до температури газового потоку θ_{PT} . З метою зменшення впливу на точність визначення дорегулярного режиму в TA , який може займати до 10 % від тривалості часу встановлення температури θ_{PT} [20], доцільно встановити значення першої порогової напруги

U_{p1} компаратора таким, щоб можна було з певністю твердити про його закінчення. Для зменшення впливу шумів компаратора та зовнішніх завад доцільно задати значення U_{p2} другої порогової напруги компаратора суттєво більшим. Тоді інформативний проміжок часу $t_2 - t_1$ визначається із системи рівнянь (2)–(3):

$$\begin{cases} U_{\text{вих}0} \cdot e^{-\omega_1 t_1} = U_{p1}, \\ U_{\text{вих}0} \cdot e^{-\omega_1 t_2} = U_{p2}, \end{cases} \quad (2)$$

звідки

$$t_2 - t_1 = \tau_1 \cdot \ln \frac{U_{p1}}{U_{p2}}, \quad (3)$$

де $U_{\text{вих}0}$ – значення напруги $U_{\text{вих}}$ при температурі термоанемометра $\theta_{\text{ТД}}$; τ_1 – стала часу термоанемометра.

6. Результати експериментальних досліджень макету термоанемометра

З метою зменшення похибки лічильника пропонується використати для побудови термоанемометричного газового лічильника сенсори на основі р-п-переходу, оскільки температурні сенсори на основі р-п переходу є перспективними для засобів вимірювання теплових величин [15]. Такі сенсори працездатні в досить великому температурному діапазоні. Мікроелектронні р-п сенсори температури дають принципову можливість суттєвого зменшення споживаної потужності в термоанемометричних лічильниках. Нелінійність сенсорів на основі р-п переходу близька до нелінійності термометрів опору і не вимагає складних схем лінеаризації [16], але основним їх недоліком є великий технологічний розкид. Тому основна увага зосереджена на обговоренні необхідності використання методів уніфікації їх характеристик з модуляцією вимірюваного струму для декількох існуючих математичних моделей їх передавальної характеристики.

Тілом, що нагрівається в розробленому термоанемометрі, є безкорпусна діодна матриця, яка складається з декількох діодів, розміщених на одному кремнієвому кристалі невеликих розмірів і маси. Тепловий контакт забезпечує спільна підкладка – кристал кремнію, на якому виготовлені діоди. Максимально допустимий струм через всі діоди не повинен перевищувати декількох десятків мА. Малі розміри та маса матриці обумовлюють її малу теплову інерційність. Так, при струмі 49 мА за 70 мс температура матриці зростає на 5 °С [20].

На включеному в пряму напрямку кремнієвому р-п переході напруга лінійно зменшується при зростанні температури на 1 °С. Практична лінійність цієї напруги спостерігається в діапазоні температур –40 °С ... +80 °С. При досягненні кристалом певної температури струм, що протікає через нагрівні діоди виключається. Струм через вимірювальний діод протікає неперервно, нагріваючи кристал. Для, того щоб зменшити негативний вплив такого нагрівання, через вимірювальний діод протікає струм в 600 разів менший від сумарного

струму нагрівних діодів. Напруга на вимірювальному діоді та температура діодної матриці пов'язані між собою лінійною залежністю, тому коливання температури будуть супроводжуватись подібними за формулою коливаннями напруги [20].

Випробування створеного термоанемометра показали, що йому властиві деякі недоліки. Після закінчення нагрівання температура ЧЕ буде зменшуватись за експонентою. При наближенні до температури газового потоку крива напруги, що відповідає зміні температури на виході ЧЕ стає все пологішою і її рівень стає співмірним із рівнем шумів. Шуми, які присутні на вимірювальному діоді матриці, спричинюють зростання температури ЧЕ. Цикл вимірювання починається з подачі короткочасного імпульсу керування і за досягнення напруги на ЧЕ якогось порогового значення цикл нагрівання зупиняється і починається цикл вимірювання, під час якого температура ЧЕ спадає. Так кожен наступний цикл вимірювання є коротшим від попереднього і з кожним циклом середня температура ЧЕ зростає, поки не досягне якогось усталеного значення [20]. Можна обмежити рівень шумів на аноді вимірювального діода, але повністю їх усунути неможливо. Після проведених досліджень було прийнято рішення змінити функціональну схему термоанемометра та алгоритм його роботи. У відповідності до нового алгоритму роботи термоанемометра цикл вимірювання не починається відразу після закінчення попереднього, а має сталу частоту повторення, значення якої визначається зовнішнім генератором. Період генератора вибрано так, щоб температура ЧЕ максимально наблизилась до температури потоку при його найменшій швидкості.

Отже, для реалізації поставлених завдань структурна схема термоанемометра містить: генератор частоти повторення циклів вимірювання, джерело струму нагрівання, сенсор, що складається з нагрівного та чутливого елементів, схему вимірювання температури, що складається із джерела струму для ЧЕ та підсилювача напруги, схему запам'ятовування температури потоку, схему керування джерелом струму нагрівання, схему формування вимірювального інтервалу τ .

7. Перспективи вдосконалення побутових лічильників газу

Для вирішення проблем раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів важливо звернути увагу на удосконалення існуючих методів і засобів метрологічного забезпечення вимірювачів об'єму та об'ємної витрати природного газу. Проаналізувавши велику кількість матеріалів, можна зробити висновок про недосконалість сучасних моделей еталонних витрато-вимірювальних засобів [21]. Тому увагу дослідників все більше привертає новий принцип побудови робочих еталонів і еталонів передачі на базі витратомірів критичного витікання газу, який на відміну від існуючих, забезпечує функціонування за умов низьких тисків робочого середовища, зокрема повітря і природного газу [22]. При цьому, значення відносної сумарної невизначеності таких робочих ета-

лонів зведено до $\pm 0,12\%$, а розширена невизначеність не перевищує $\pm 0,25\%$, що відповідає вимогам чинної Державної повірочної схеми для засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу, а їх функціонування на повітрі і природному газі забезпечує досягнення єдності вимірювань при передачі одиниці вимірювання в умовах зміни виду робочого середовища [22].

Попередній аналіз показує, що з точки зору забезпечення достатньої чутливості і точності вимірювань доцільний вибір робочої швидкості потоку в термоанемометра не менше, ніж $0,85$ м/с. Тому, заздалегідь знаючи витрати, які повинен вимірювати термоанемометр, необхідно розрахувати перетин труби, в якій буде розміщений чутливий елемент термоанемометра так, щоб швидкість потоку в ній була не менша вказаного значення [23].

Враховуючи, що максимально допустимий перегрів нагрівача термоанемометра з практичних міркувань не повинен перевищувати, наприклад, 10 К, то як показують результати аналітичного огляду існуючих малогабаритних датчиків температури, результати експериментальних досліджень макету термоанемометра та з урахуванням вимог до чутливості ТА можна зробити висновок про можливість використання таких сенсорів як термістори, термоперетворювачі опору, сенсори з р-п-переходом.

Недоліком сучасних побутових лічильників газу є достатньо велика похибка, тому актуальним є створення засобу обліку газу з похибкою меншою від $\pm 0,5\%$, що буде корисним як споживачам, так і державі. З цією метою пропонується використовувати для побудови термоанемометричного газового лічильника сенсори на основі р-п-переходу або плівкової платинової ТО [23].

8. Висновки

З аналітичного огляду існуючих методів та засобів побудови побутових газових лічильників можна зробити висновок, що термоанемометричний метод у найбільшій мірі відповідає сформульованому завданню, завдяки його потенційно високій точності та можливості забезпечення відносно невеликих малогабаритних показників. Існуючі побутові лічильники газу є морально застарілими, мають недостатньо високий клас точності для комерційних цілей, не враховують якість надаваних послуг із газопостачання і не дозволяють автоматизувати процеси обліку, контролю, діагностування працездатності та розрахунків за спожитий газ.

З метою зменшення похибки лічильника запропоновано використати для побудови термоанемометричного газового лічильника сенсори на основі р-п-переходу, оскільки температурні сенсори на основі р-п-переходу є перспективними для засобів вимірювання теплових величин і такі сенсори працездатні в досить великому температурному діапазоні [23].

Тому були запропоновані шляхи побудови термоанемометричних газових лічильників високого класу точності та подано структуру та статичну характеристику перетворення термоанемометра, на підставі аналізу похибок запропоновано умови забезпечення інваріантності функції перетворення термоанемометра до зміни умов довкілля.

Проаналізовано результати експериментальних досліджень макету термоанемометра для створення побутового газового лічильника.

Література

1. Пістун, Є. П. Стан і перспективи розвитку обліку природного газу [Текст] / Є. П. Пістун // Методи та прилади контролю якості. – 1999. – № 3. – С. 34-38.
2. Законодавство України [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2246-99>
3. Дзеркало тижня. Україна [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://dt.ua/economics>
4. Информация о нефтегазовой и энергетической отрасли Украины [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.gasunion.org.ua>
5. Економіка [Електронний ресурс] / Режим доступу : [Http://economics.unian.ua/other/928030-top-10-12-cherhvnyia.html](http://economics.unian.ua/other/928030-top-10-12-cherhvnyia.html).
6. ООО «Васис» [Электронный ресурс] / Каталог продукции. – Режим доступа: www.vasis2010.com.ua
7. Лічильники газу ультразвукові [Електронний ресурс] / Технічні характеристики лічильників газу ультразвукових "Курс-01" № в реєстрі У 1904-05. – Режим доступу : sofya3.com.ua/node/201
8. Завод «Прилад» [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.prylad.com.ua/index.php/uk/turbinni-lichylnyky>.
9. Пістун, Є. П. Облік та економія енергоресурсів [Текст] : доп. 2-ої міжн. наук.-прак. конф. / Є. П. Пістун // Управління енерговикористанням: Львів, 1997. – С. 12–14.
10. ISO – 5167 [Text] / Measurement of Fluid Flow by Means of Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes Inserted in Circular Cross-section Conduits Running Full. 1st edition, 1980.
11. ДСТУ 3607-97. Лічильники газу побутові. Правила приймання та методи випробувань [Текст] / М.: Видав-во стандартів. – Введ. 1998-07-01.
12. Справочные материалы по вопросам учета расхода газов и газовых смесей [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ker-products.ru/uchet-rashoda-gaza.html>
13. Еремін, Т. П. Влияние температуры газового потока на погрешность определения его скорости [Текст] / Т. П. Еремін, В. Г. Кондратенко // Изв. высш. учеб. заведений. Приборостроение. – 1975. – Т. XVIII, № 6. – С. 122.
14. Марченко, А. Н. Управляемые полупроводниковые резисторы [Текст] / А. Н. Марченко. – М.: Энергия, 1978. – 220 с.
15. Ярин, Л. П. Термоанемометрия газовых потоков [Текст] / Л. П. Ярин. – Машиностроение, 1983. – 240 с.
16. Столярчук, П. Г. Уніфікація параметрів напівпровідникових сенсорів [Текст] / П. Г. Столярчук, В. О. Яцук, Ю. В. Яцук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2002. – № 9. – С. 65–69.

17. Кузь, М. В. Методичні аспекти підвищення точності обліку природного газу лічильниками з електронними пристроями температурної компенсації [Текст] / М. В. Кузь, О.Є. Середюк. // Прилади та методи контролю якості. – 2012. - №1. – С. 113-119.
18. Кузнецов, Д. Н. Особенности градуировки термоанемометров с нестационарным режимом разогрева термочувствительного элемента [Текст] / Д. Н. Кузнецов, Ю. Д. Украинский, А. А. Морозов // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – № 3 (30). – С. 23–27.
19. Туричин, А. М. Электрические измерения неэлектрических величин [Текст] / А. М. Туричин, П. В. Новицкий, Е. С. Левшина и др.; под ред. проф. П. В. Новицкого; 5-е изд., перероб. и доп. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с.
20. Покращення характеристик індивідуальних термоанемометричних лічильників природного газу [Текст] : матеріали 15-ої міжнародної конф. / І. Я. Обух, В. С. Рак // Автоматика-2008. – Одеса, 2008. – С. 869–872.
21. Середюк, О. Є. Методологія побудови еталонів передавання одиниці об'єму природного газу [Текст] / О. Є. Середюк // Український метрологічний журнал. – 2007. – № 1. – С. 38–41.
22. Гончарук, М. І. Рациональное використання природного газу як одна із складових збереження його ресурсів [Текст] / М. І. Гончарук, С. А. Чеховський, О. Є. Середюк // Нафтова і газова промисловість. – 2005. – № 2. – С. 3–10.
23. Яцук, В. О. Анализ возможностей повышения точности индивидуального учета природного газа [Текст] / В. О. Яцук, И. Я. Обух // Устойчивое развитие. – 2013. – № 7. – С. 72–77.

В статті розглянуто недоліки існуючих засобів вимірювання швидкості руху та глибини занурення кліти шахтної підйомної машини, які застосовують в системі контролю та управління підйомної машиною. Запропоновано два способи вимірювання вказаних параметрів за допомогою феримагнітних вимірювальних перетворювачів

Ключові слова: феримагнітний перетворювач, шахтна підйомна машина, швидкість руху, глибина занурення

В статье рассмотрены недостатки существующих средств измерения скорости движения и глубины погружения клетки шахтной подъемной машины, которые используются в системе контроля и управления подъемной машиной. Предложено два способа измерения указанных параметров с помощью ферримагнитных измерительных преобразователей

Ключевые слова: ферримагнитный преобразователь, шахтная подъемная машина, скорость движения, глубина погружения

УДК 531.7

СПОСОБИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ШАХТНИХ ПІДЙОМНИХ МАШИН

В. Ю. Ларін

Доктор технічних наук, професор
Кафедра інформаційно-вимірювальної техніки
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: vjlarin@gmail.com

1. Вступ

Представлена наукова праця належить до області проектування інформаційно-вимірювальних систем на основі феримагнітних перетворювачів з метою подальшого практичного застосування у галузі вугільно-видобувної промисловості.

За допомогою кліти шахтної підйомної машини здійснюють спуск працівників та вантажу на рудничний двір шахти та відповідно підйом на поверхню по вертикальних стволах. Тобто можна відзначити, що вказана операція є дуже важливою у виробничому процесі вугледобування. Використання вертикального методу руху приводить до необхідності встановлення жорстких вимог до систем керування за контролю процесів руху кліти підйомної машини. Забезпечити точність процесів керування рухом підйомної машини можливо лише за умови введення у контур системи

керування інформаційно-вимірювальної підсистеми вимірювання або контролю параметрів руху, яка побудована на вимірювальних перетворювачах, до яких висувають підвищені вимоги по надійності, враховуючі складний фактор геомеханічної обстановки сучасних вугледобувних підприємств.

Тому створення точних та надійних інформаційно-вимірювальних пристроїв для контролю таких параметрів руху кліти підйомної машини як швидкість, напрям руху, глибина занурення кліти у стволі шахти є актуальним науково-технічним завданням.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

На сьогодні на шахтах функціонують системи керування шахтною підйомною машиною, які були спроектовані три-чотири десятиріччя назад, та які ще і досі