


006 (043)
K 50

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Клочко Наталія Богданівна



006+681.121(043)

УДК 006.86:681.121.4

K 50

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ
ТУРБІННИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ**

Спеціальність 05.01.02 – Стандартизація, сертифікація та метрологічне
забезпечення

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис

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



Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор **Чеховський Степан Андрійович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри інформаційно-виміральної техніки, м.Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Народницький Геннадій Юрійович**, Національний науковий центр «Інститут метрології», директор наукового центру механічних вимірювань, м.Харків;

кандидат технічних наук **Власюк Ярослав Михайлович**, Національна акціонерна компанія «Нафтогаз України», начальник управління обліку газу і нафти та метрології, м.Київ.

Захист відбудеться «27» лютого 2014р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 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 «22» лютого 2014р.

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

М.М. Дранчук



АГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із шляхів досягнення енергетичної безпеки України є раціональне та ефективне використання природного газу. Її реалізація неможлива без застосування сучасних високоточних засобів вимірювання об'єму та витрати природного газу та належного їх метрологічного забезпечення. Поряд з цим потребує поглибленого вивчення питання забезпечення високих метрологічних характеристик пристроїв та систем вимірювання витрати потоків газу для контролю та керування технологічними процесами в таких енергоємних галузях, як нафтогазовидобувна та нафто- і газопереробна. На сьогоднішній час оцінювання точності промислових лічильників газу, в тому числі і турбінних, здійснюється за допомогою еталонних установок вимірювання об'єму і витрати газу. Оскільки ці дослідження проводяться, в основному, на повітрі в силу практичної відсутності еталонних установок з функціонуванням на природному газі за великих витрат, все більшої актуальності набуває необхідність вдосконалення методів оцінювання точності турбінних лічильників газу. При цьому необхідною є оптимізація методів опрацювання вимірювальної інформації на базі імовірнісних методів оцінювання метрологічних характеристик засобів обліку природного газу.

Відомі дослідження у сфері витратометрії природного газу, які виконані вітчизняними та іноземними вченими, зокрема, І.С. Бродишим, Є.П. Пістуном, І.С. Петришиним, О.Є. Середюком, В.С. Вошинським, Л.В. Лесовим (Україна), П.П. Кремльовським, А.А. Тупіченковим, А.П. Герасимовим (Російська Федерація), З. Кабзою (Польща), Д. Допхайде (Німеччина), Е.Томсоном, Дж. Греєм, В.Ф.З.Лі, Дж. Евансом (США) та ін. стосуються, перш за все, розроблення еталонних засобів витратометрії та вдосконалення методологічних аспектів проектування і експлуатації робочих засобів вимірювання об'єму та витрати природного газу та створення науково-методичної та прикладної бази у вказаній галузі. Однак питання вивчення імовірнісних характеристик лічильників газу, в тому числі і турбінних, при їх метрологічних дослідженнях, потребує ґрунтовного доопрацювання.

Відомі роботи в галузі вимірювального експерименту вітчизняних авторів, зокрема В.М. Чинкова, Є.Т. Володарського, Л.О. Кошевої та іноземних Н.Джонсона, Ф.Ліона, М.Кендалла, А.Стюарта (США) присвячені дослідженню імовірнісних характеристик теоретичних аспектів та засобів вимірювання параметрів технологічних процесів і практично не стосуються сфери витратометрії природного газу. Саме тому актуальним науково-прикладним завданням є удосконалення методів оцінювання точності турбінних лічильників газу при їх застосуванні як еталонних засобів вимірювання.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких відображені у дисертаційній роботі, виконувалися впродовж 2009-2014 років згідно з держбюджетною науково-дослідною тематикою кафедри «Інформаційно-вимірювальна техніка» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу "Наукові основи розробки методів, систем і нормативної бази для вимірювання витрат та контролю обладнання і технологічних параметрів в нафтогазовій галузі" (ДРН 0109U008878) .

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає у вирішенні науково-

an 2478 - an 2478

прикладного завдання у галузі метрології – підвищення точності турбінних лічильників газу шляхом удосконалення методів та розроблення нормативної бази для покращення оцінювання метрологічних характеристик турбінних лічильників при обліку природного газу.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі **задачі**:

- провести аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку методів оцінювання точності турбінних лічильників газу в науково-прикладних, нормативних та технічних аспектах;

- удосконалити модель процесу функціонування турбінного лічильника газу з метою врахування конструктивних параметрів турбіни, умов її експлуатації та параметрів природного газу на метрологічні характеристики турбінних лічильників газу;

- здійснити експериментальні дослідження метрологічних характеристик турбінних лічильників газу на реальному середовищі для оцінювання виду законів розподілу результатів вимірювання та їх зв'язку з випадковою складовою похибки турбінних лічильників;

- удосконалити концепцію застосування методів математичної статистики при опрацюванні результатів вимірювання об'єму природного газу турбінними лічильниками;

- удосконалити методи оцінювання точності турбінних лічильників газу та розробити алгоритми їх практичної реалізації;

- розробити нормативний документ з практичного застосування удосконаленого методу оцінювання точності турбінних лічильників при їх калібруванні.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання об'єму природного газу турбінними лічильниками.

Предметом дослідження є наукова, прикладна (в аспекті інформаційного забезпечення) та нормативна бази оцінювання метрологічних характеристик еталонних турбінних лічильників газу.

Методи дослідження. Теоретичний аналіз, проведений в дисертаційній роботі, ґрунтувався на використанні методів математичного моделювання фізичних процесів у турбінних лічильниках газу на базі основних положень теоретичної механіки, газодинаміки та критеріїв гідродинамічної подібності потоків, методів теорії імовірності, математичної статистики, теорії похибок та теорії невизначеності при оцінюванні метрологічних характеристик турбінних лічильників газу.

Експериментальні дослідження здійснювались з використанням методів теорії вимірювань і планування експерименту, математичної статистики та теорії імовірності, методів числового опрацювання результатів експериментів із використанням ПЕОМ. Для експериментального визначення метрологічних характеристик турбінних лічильників на природному газі застосовувалась єдина створена в Україні калібрувальна установка на базі еталонних лічильників, яка функціонує на природному газі в ПАТ «Івано-Франківськгаз».

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи.

1. Удосконалено математичну модель процесу функціонування турбінного

лічильника газу, яка враховує конструктивні параметри турбіни, критерії подібності гідродинамічних потоків турбіни, умови її експлуатації та параметри природного газу, що дозволяє кількісно оцінити систематичну складову похибки, чим досягається підвищення точності результатів вимірювання турбінними лічильниками газу при їх калібруванні як еталонних засобів.

2. Вперше експериментальним шляхом встановлено види законів розподілу результатів вимірювання об'єму газу за різних заданих фіксованих значень об'ємної витрати для турбінних лічильників типорозмірів G400 та G160, що дає можливість підвищити оцінку точності результатів вимірювання шляхом уточнення діапазону зміни випадкової складової похибки результатів вимірювання об'єму за різних витратних режимів турбінних лічильників газу.

3. Удосконалено концепцію застосування методів математичної статистики шляхом ідентифікації виду закону розподілу на базі інформаційного підходу при опрацюванні результатів вимірювання об'єму природного газу турбінними лічильниками, яка дозволяє підвищити оцінку точності та достовірності результатів вимірювання об'єму природного газу турбінними лічильниками.

4. Удосконалено методи оцінювання точності турбінних лічильників газу шляхом одночасного коригування систематичної складової похибки результатів вимірювання об'єму та оцінювання випадкової складової, які лягли в основу розроблення нормативного документу з оцінювання точності турбінних лічильників газу при їх калібруванні, що відкриває нові практичні аспекти створення еталонних засобів вимірювання об'єму газу.

Практична цінність одержаних результатів полягає у:

- експериментальному підтвердженні за допомогою калібрувальної установки ПАТ «Івано-Франківськгаз», яка функціонує на природному газі, адекватності розробленої удосконаленої моделі функціонування турбінних лічильників газу та встановленні законів розподілу результатів вимірювання ними об'єму газу;

- розробленні та впровадженні у ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» нормативного документу з методики калібрування турбінних лічильників газу на реальному середовищі при їх застосуванні як еталонних засобів вимірювання об'єму природного газу;

- використанні результатів дисертаційної роботи у навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при підготовці фахівців за освітньо-професійними програмами спеціаліста і магістра спеціальності «Метрологія та вимірювальна техніка» на кафедрі «Інформаційно-вимірювальна техніка» з дисциплін «Вимірювальний експеримент та обробка результатів», «Теоретичні основи метрологічного забезпечення витратовимірювання».

Особистий внесок здобувача. Результати теоретичних та експериментальних досліджень, висновки та рекомендації, що представлені до захисту, одержані автором особисто і стосуються удосконалення методів оцінювання точності турбінних лічильників та алгоритму опрацювання результатів вимірювання об'єму природного газу [7].

У роботах, опублікованих у співавторстві, використані результати одержані здобувачем особисто, до яких належать: аналіз джерел невизначеностей під час вимірювання об'єму природного газу турбінними лічильниками [4,2]; встановлення виду закону розподілу результатів вимірювання [3,10]; обґрунтування доцільності застосування турбінних лічильників у складі витратовимірювального комплексу, який використовується для виявлення витоків природного газу в газорозподільних мережах [12,4]; аналіз зразкових витратовимірювальних установок для метрологічного контролю лічильників газу [9]; порівняльний аналіз теоретичних методів статистичної обробки експериментальних даних, які застосовуються при ідентифікації законів розподілу [5,8]; розроблення діаграми Ісікави для функціонування турбінних лічильників газу [6,11]; розроблена концепція інноваційних технологій при вивченні метрологічних характеристик турбінних лічильників газу [13]; розроблені та апробовані методи оцінювання точності турбінних лічильників газу [1]; розроблено алгоритми коригування систематичної складової похибки результатів вимірювання об'єму та оцінювання випадкової складової похибки турбінних лічильників газу [14].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на 3 міжнародних та 3 всеукраїнських науково-технічних конференціях: VII, IX, XI міжнар. наук.–техн. конф. “Приладобудування: стан і перспективи”, м.Київ, 2008, 2010, 2012р.р.; VI-VII всеукраїнських наук.-техн. конф. «Вимірювання витрати та кількості газу», м.Івано-Франківськ, 2009, 2011р.р; 1-й всеукраїнській наук.-метод. конф. «Дистанційна освіта: стан і перспективи для технічних спеціальностей», м.Івано-Франківськ, 2012р.

Крім того матеріали роботи доповідались на наукових семінарах кафедри «Інформаційно-вимірювальна техніка» ІФНТУНГ впродовж 2009-2014рр..

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 13 наукових працях, з яких 7 статей у фахових наукових виданнях, що входять до переліку ДАК України [1]-[7], в тому числі 1 у наукометричному журналі [1] і 1 одноосібна [7], та в 6 публікаціях за матеріалами праць науково-технічних конференцій [8]-[13], крім того розроблено 1 нормативний документ [14].

Структура та об'єм дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, переліку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 114 сторінок основного тексту, 26 рисунків, 21 таблиць, 6 додатків на 32 сторінках. Список використаних джерел складається із 97 найменувань на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

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 та планами, визначено наукову новизну та практичну цінність роботи, особистий внесок здобувача в одержаних результатах, подано відомості про їх апробацію, публікації та впровадження.

У першому розділі здійснений аналіз методів статистичного опрацювання

вимірювальної інформації, в тому числі акцентовано увагу на опрацюванні вимірювальної інформації турбінних лічильників газу при їх метрологічних дослідженнях для випадків метрологічної атестації, калібрування та перевірки.

Показано, що на сьогоднішній день не існує методики, яка б здійснювала оцінювання систематичної та випадкової складових похибки турбінного лічильника із врахуванням виду закону розподілу результатів вимірювання об'єму газу.

Проаналізовані види основних метрологічних характеристик турбінних лічильників газу, чинні в Україні та відомі закордонні нормативні документи, на підставі яких можна оцінювати якісні параметри процесу вимірювання об'єму газу. Наведено аналіз еталонних установок як технічних засобів для метрологічних досліджень турбінних лічильників газу.

Здійснений аналіз методичних підходів алгоритмічного опрацювання результатів вимірювань при метрологічному контролі турбінних лічильників газу як еталонних так і робочих засобів вимірювання.

Зроблений висновок про недостатню ґрунтовність відомих досліджень щодо поведінки та співвідношення систематичної та випадкової складових похибки для певного типорозміру турбінних лічильників в залежності від робочих витрат, умов функціонування, конструктивних параметрів турбіни та компонентного складу природного газу. Встановлено, що оцінювання випадкової складової похибки результатів вимірювання об'єму газу доцільно здійснювати із застосуванням методів математичної статистики на базі інформаційного підходу при опрацюванні результатів вимірювання турбінними лічильниками.

На підставі викладеного матеріалу обґрунтовано необхідність вдосконалення методів оцінювання точності турбінних лічильників газу, сформульовані завдання, які потребують вирішення, і обґрунтовано напрямки дисертаційних досліджень.

У другому розділі викладені результати теоретичних досліджень конструктивних і експлуатаційних впливових факторів на метрологічні характеристики турбінних лічильників газу при удосконаленні методів оцінювання їх точності.

При моделюванні роботи турбінного лічильника з метою аналізу факторів впливу на його точність розроблено графічну модель у вигляді діаграми Ісікави, яка узагальнює процес вимірювання об'єму газу турбінними лічильниками. Ця модель дає змогу виділити окремі фактори, детальне вивчення яких на етапі наукових досліджень відкриває шляхи підвищення точності вимірювання турбінними лічильниками газу. Встановлено, що поряд із відомим впливом конструктивних особливостей виконання турбіни (кут нахилу лопатей, їх геометричні розміри, шорсткість поверхні лопатей) потребує більш детального дослідження процес гідродинамічної взаємодії вимірного потоку газу для різних його режимів (ламінарний, перехідний, турбулентний) з врахуванням критеріїв гідродинамічної подібності і параметрів природного газу, які безпосередньо впливають на сили динамічного та механічного опору вимірювального середовища.

Оскільки протидіючі моменти, які мають місце при роботі турбіни (наприклад, гальмівний момент, що створюється на поверхні лопатей, у підшипниках ковзання або кочення, давача частоти обертання турбіни) не є постійними, то доцільно

спочатку провести моделювання функціонування турбіни за умов змінних тільки її конструктивних параметрів і умов експлуатації.

За умови відсутності протидії сповільнюючих сил відомою є така модель функціонування турбіни:

$$r\omega_i = \tan \beta \cdot v, \quad (1)$$

де r – вектор радіусу турбіни, м; v – вектор швидкості потоку, м/с; ω_i – ідеальна кутова швидкість обертання турбіни, с⁻¹; β – кут нахилу лопатей турбіни.

Якщо ввести в рівняння (1) значення об'ємної витрати q_v , ефективний радіус турбіни \bar{r} та вплив протидіючих сил, то отримаємо:

$$\frac{\omega}{q_v} = \frac{\tan \beta}{rS} - \Delta K, \quad (2)$$

де ω – фактична кутова швидкість обертання турбіни, с⁻¹; ΔK – сукупний вплив протидіючих сил на коефіцієнт перетворення лічильника, 1/м³; S – площа поверхні

леза лопаті, м², $\bar{r} = \sqrt{\frac{R^2 + a^2}{2}}$ – ефективний радіус турбіни (середньоквадратичне значення внутрішнього a та зовнішнього R радіусів турбіни), м.

Відношення ω/q_v є теоретичним розрахунковим значенням коефіцієнта перетворення лічильника K . Враховуючи, що у вимірювальному середовищі мають місце сили інерції, то необхідно використовувати критерії гідродинамічної подібності, для більш повного опису процесу руху газового потоку. Практичну цінність мають числа Струхала St та Рейнольдса Re , які дають можливість врахувати і конструктивні особливості турбінних лічильників:

$$St = \frac{fD^3 \pi P_f}{4q_v}, \quad (3)$$

$$Re = \frac{fDd\rho_c}{\mu}, \quad (4)$$

де D – зовнішній діаметр лопаті турбіни ($D=2R$), м; d – ширина потоку через лопаті турбіни ($d=R-a$), м; P_f – коефіцієнт заповнення лічильника (для газового середовища $P_f=1$), μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с; f – частота пульсацій потоку, с⁻¹; ρ_c – густина газу, кг/м³.

Прирівнявши частоту пульсацій потоку за формулами (3) та (4), отримаємо:

$$Re = \frac{St \times 4q_v \times d \times \rho_c}{\mu \times D^2 \times \pi}. \quad (5)$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості μ з урахуванням компонентного складу природного газу за тисків до 0,5 МПа можна обчислити за відомою формулою:

$$\mu = 3.24 \frac{T^{0.5} + 1.37 - 9.09\rho_c^{0.125}}{\rho_c^{0.5} + 2.08 - 1.5(x_{N_2} + x_{CO_2})}, \quad (6)$$

де μ виражено в мкПа·с, x_{N_2} – молярна частка азоту; x_{CO_2} – молярна частка діоксиду вуглецю; T – абсолютна температура газу, К.

Тому залежність (2) з урахуванням (5), (6) і відомого впливу геометричних параметрів турбіни на протидіючий момент можна подати таким чином:

$$K = \frac{\tan \beta}{rS} - \frac{0.285n(R+a)SA^{-2} \sin \beta}{r^2} \times \left(\frac{St \cdot 4q_v \rho d (\rho_c^{0.5} + 2.08 - 1.5(x_a + x_y))}{D^2 \pi (T^{0.5} + 1.37 - 9.09 \rho_c^{0.125}) \cdot 10^{-6}} \right)^{-0.2}, \quad (7)$$

де S – кільцевий поперечний переріз потоку, м²; A – площа поперечного перерізу труби, м²; n – кількість лопатей турбіни.

Рівняння (7) показує нелінійність зміни коефіцієнта перетворення турбінного лічильника газу від умов його експлуатації, основних геометричних параметрів і критеріїв гідродинамічної подібності потоку. Результати моделювання впливу геометричних розмірів турбіни на співвідношення протидіючих і рушійних сил, які приводять до зміни коефіцієнту перетворення, наведені на рис.1. Вони можуть бути підставою для вибору на етапі проектування лічильника оптимальних геометричних параметри турбіни за критерієм мінімальної зміни відношення кутової швидкості обертання до об'ємної витрати.

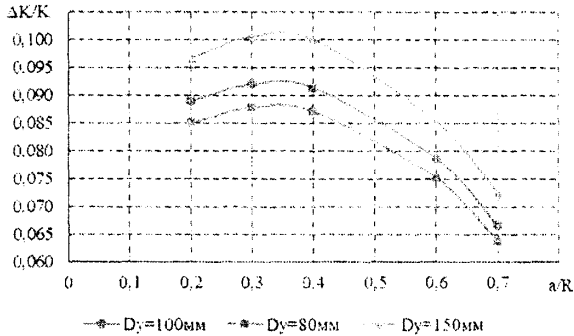


Рис. 1. Вплив геометричних розмірів турбіни на зміну коефіцієнта перетворення турбінного лічильника газу для труби з умовними діаметрами 80, 100, 150 мм

Залежність (7) дозволяє коригувати систематичну складову похибки на етапі проектування і метрологічної атестації, оскільки враховує і геометричні параметри турбіни, і параметри вимірною середовища.

У розділі також досліджено вплив параметрів природного газу (густини, молярні долі азоту та диоксиду вуглецю, абсолютна температура газу) на коефіцієнт перетворення лічильника. З цією метою обчислювалися коефіцієнти вагомості (табл.1), які дають змогу оцінити ступінь впливу зміни кожного із впливових факторів на коефіцієнт перетворення лічильника за умови зміни впливового параметра на 1 %:

$$\frac{\partial K'}{\partial z_i} \cong \frac{(K_{z_i}^{\max} - K_{z_i}^{\min}) \times \bar{z}_i}{(\bar{z}_{i\max} - \bar{z}_{i\min}) \times K_i}, \quad (8)$$

де $\frac{\partial K'}{\partial z_i}$ – безрозмірний коефіцієнт вагомості впливу i -го вхідного параметра на обчислення коефіцієнта перетворення лічильника; \bar{K}_i – середнє значення коефіцієнта перетворення турбінного лічильника за умови зміни i -того вхідного

параметра; $K_{z_i}^{\max}, K_{z_i}^{\min}$ – значення коефіцієнта перетворення лічильника при максимальному z_{max} та мінімальному z_{min} значенні вхідного параметра відповідно, l_{mn}/m^3 , \bar{z}_i – середнє значення i -того вхідного параметра.

При цьому графічні залежності, отримані в результаті дослідження впливу параметрів природного газу на коефіцієнт перетворення лічильника, представлено на рис.2.

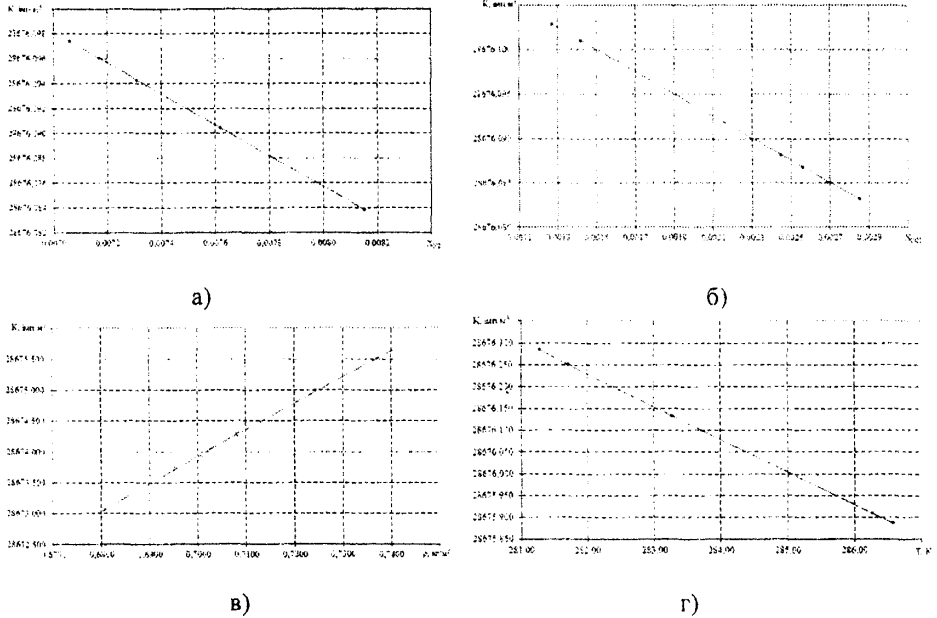


Рис. 2. Зміна коефіцієнта перетворення лічильника від параметрів природного газу: а – при зміні молярної концентрації азоту; б – при зміні молярної концентрації двоокису вуглецю; в – при зміні густини; г – при зміні абсолютної температури

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів вагомості вхідних параметрів розрахунку коефіцієнта перетворення турбінного лічильника газу

Вхідний параметр	Коефіцієнт вагомості, $\partial K'/\partial z_i$
Молярна концентрація азоту, відн.од.	$-3,23 \times 10^{-6}$
Молярна концентрація двоокису вуглецю, відн.од.	$-9,15 \times 10^{-7}$
Абсолютна температура T , К	$-0,7 \times 10^{-3}$
Густина ρ_c , $кг/м^3$	1×10^{-3}

Звідси випливає, що при обчисленні коефіцієнта перетворення турбінного лічильника газу разом із геометричними параметрами турбіни; впливовими є

параметри природного газу. При цьому найбільш суттєвими є вплив густини та абсолютної температури, зміна яких на 10% призводять до зміни коефіцієнта перетворення лічильника на 0,01% та 0,007% відповідно.

З метою перевірки на коректність експериментальних досліджень, при яких відтворена витрата на еталонній установці приймалася стабільною, додатково здійснювалась оцінка пульсацій потоку.

При цьому запропоновано використовувати такий показник стабільності робочого середовища, який враховує не лише коливання тиску, а й температури:

$$S_{q_v} = \frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_i}{T_i} - \frac{\bar{p}}{\bar{T}} \right)^2 \right)^{1/2}}{\frac{\bar{p}}{\bar{T}}}, \quad (9)$$

де n – число вимірювань перепаду тиску за інтервал часу, прийнятий для оцінки пульсацій потоку; i – номер вимірювання; p_i – значення тиску при i -му вимірюванні,

Па; $\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$ – середнє значення тиску, Па; T_i – значення температури при i -му

вимірюванні, К; $\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$ – середнє значення температури, К.

Дослідження пульсацій потоку проводились як в межах однієї вибірки (тобто для результатів вимірювання миттєвих значень об'ємної витрати), так і для кількох вибірок з результатами досліджень у одній і тій же контрольній точці (тобто для усереднених значень об'ємної витрати). У результаті проведених розрахунків показник стабільності робочого середовища при дослідженні турбінних лічильників не перевищував 0,01%, що майже на два порядки є меншим від допустимої похибки вимірювання об'єму турбінними лічильниками газу, яка становить $\pm 1\%$ в діапазоні $q_{min} \dots 0,2q_{max}$ та 2% в діапазоні $0,2q_{max} \dots q_{max}$. Тут також можна додати, що для умов вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску, згідно нормативного документу (Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009) потік вважається стабільним по витраті, якщо зміна тиску без врахування непостійності температури не приводить до пульсацій, які не перевищують 0,1%. Тому можна зробити висновок, що пульсації вимірного середовища не впливають на імовірнісні характеристики результату вимірювання об'єму турбінними лічильниками.

У третьому розділі проведено експериментальне дослідження метрологічних характеристик турбінних лічильників газу типорозмірів G400 та G160 на калібрувальній установці ПАТ «Івано-Франківськгаз», яка функціонує на природному газі. Похибка установки становить 0,3% для діапазону значень об'ємної витрати за робочих умов від 0,6 м³/год до 2500 м³/год. Результати експериментальних досліджень подані на рис.3.

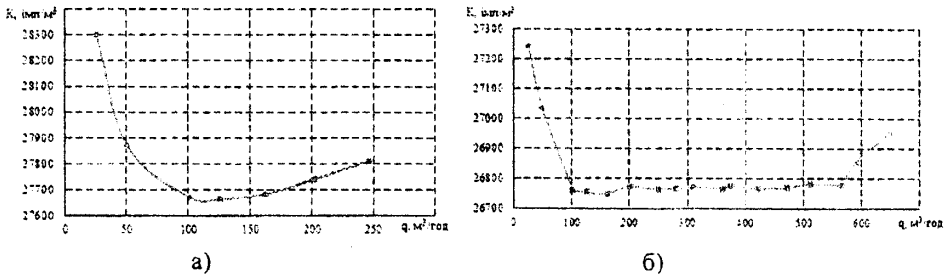


Рис. 3. Залежність коефіцієнта перетворення турбінного лічильника G160 (а) та G400 (б) від значення робочих об'ємних витрат

Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують, що значення коефіцієнта перетворення турбінного лічильника від об'ємної витрати не є постійними. З метою перевірки адекватності запропонованої моделі теоретичного визначення коефіцієнта перетворення турбінного лічильника газу проведено порівняння запропонованої моделі (7) із експериментальними значеннями та значеннями, отриманими за відомими моделями, які не враховують частоту пульсацій потоку при функціонуванні турбіни.

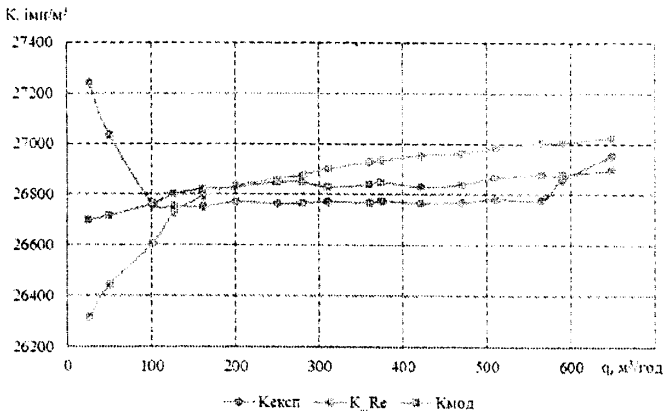


Рис. 4. Графічне представлення порівняння моделей за різних робочих об'ємних витрат через турбінні лічильники

На рис. 4 $K_{експ}$ – експериментально отримані значення, $K_{мод}$ – значення, отримані із використанням моделі (7), K_{Re} – значення розраховані за моделлю, яка не враховує частоту пульсацій потоку.

За результатами порівняння моделей функціонування турбінних лічильників газу і припускаючи нормальний закон розподілу, одержано:

– для експериментальних K : середнє значення $\overline{K_{експ}} = 26827 \text{ imp/m}^3$, середнє квадратичне значення відхилення коефіцієнта перетворення $\sigma = 132,48 \text{ imp/m}^3$, довірчі межі становлять $26764,28 < K_{експ} < 26890,23$ при імовірності 0.95. похибка

репрезентативності $\gamma=33,12$, яка обчислена за формулою $\gamma=[\sigma^2/(n-1)]^{1/2}$;

– для значень отриманих з використанням моделі (2): $\overline{K_{\text{ном}}} = 26825,38 \text{ імп/м}^3$, $\sigma=53,96 \text{ імп/м}^3$, довірчі межі $26799,72 \leq K_{\text{ном}} \leq 26890,23$ при імовірності 0,95, похибка репрезентативності $\gamma=19,49$;

– для значень розрахованих за моделлю, яка не враховує частоту пульсації потоку: $\overline{K_{\text{не}}} = 26832,93 \text{ імп/м}^3$, $\sigma=203,12 \text{ імп/м}^3$, довірчі межі $26736,38 \leq K_{\text{не}} \leq 26929,49$ при імовірності 0,95, похибка репрезентативності $\gamma=50,78$.

Отже, судячи із результатів обчислень можна зробити висновок, що розсіювання значень при розрахунку коефіцієнта перетворення турбінного лічильника за запропонованою моделлю (7) є найменшим, що дозволило зменшити похибку репрезентативності результатів визначення коефіцієнта перетворення турбінного лічильника у 2,5 рази та звузити довірчі межі, чим підвищується достовірність отриманих результатів. При цьому одночасно досягнуто покращення стабільності значень K на всьому діапазоні робочих об'ємних витрат.

На основі цього пропонується коефіцієнт перетворення лічильника при його калібруванні розраховувати за (7), що дозволяє коригувати систематичну складову похибки турбінних лічильників газу в межах до 0,1-0,2% на стадії проектування і калібрування.

В цьому розділі також додатково досліджено непостійність коефіцієнта перетворення з метою внесення поправок у алгоритм його обчислення, що є одним із факторів підвищення точності вимірювання об'єму турбінними лічильниками шляхом коригування їх випадкової складової похибки.

З цією метою застосовувався інформаційний підхід на основі теорії Шеннона, згідно з яким на результуючу похибку при вимірюваннях впливає не лише сама потужність фактора впливу, але і його закон розподілу. Такий підхід дозволяє формулювати висновок щодо виду випадковості результатів вимірювання. Критерієм належності кривої закону розподілу до того чи іншого сімейства розподілів є ентропійний коефіцієнт k :

$$k = \frac{\Delta_e}{\sigma}, \quad (10)$$

де $\Delta_e = \frac{h \cdot m}{2} \cdot 10^{-\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \cdot i \lg m_i}$ – вибіркоче ентропійне значення похибки; h – ширина інтервалу вибіркового розподілу; m – кількість інтервалів; m_i – частоти попадання результатів у відповідний інтервал.

У результаті опрацювання даних метрологічних досліджень серії турбінних лічильників газу вітчизняного виробництва типорозмірів G400 та G160 одержані залежності зміни ентропійного коефіцієнта від об'ємної витрати природного газу, приклад якої для лічильника G400 в діапазоні значень об'ємної витрати від 25 до 650 м³/год наведений на рис. 5. При цьому на одній і тій же контрольній об'ємній витраті було отримано не менше 5 вибірок з результатами визначення об'єму. Відповідно для отримання статистичної залежності обчислювалося середнє значення ентропійного коефіцієнта при умові, що кожне з окремо отриманих значень не перевищувало межі 3 σ .

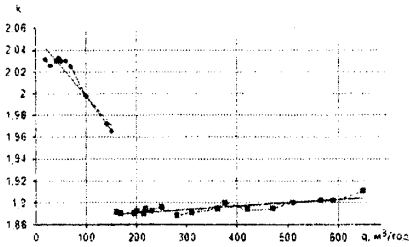


Рис. 5. Залежність ентропійного коефіцієнта від об'ємної витрати природного газу

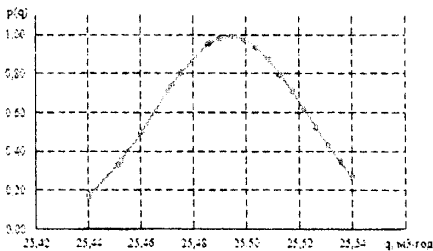
визначення видів закону розподілу у відсотках для серії турбінних лічильників типорозмірів G160 та G400.

Таблиця 5

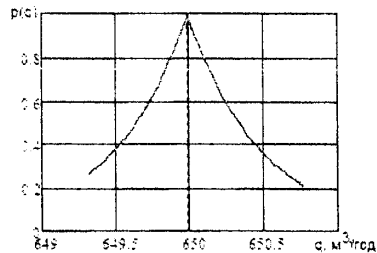
Співвідношення між законами розподілу для турбінних лічильників типорозмірами G160 та G400

Типорозмір/ Закон розподілу	160	400
Рівномірний ($k \leq 1.73$)	12%	-
Лапласа ($k = 1.73..1.93$)	16%	71%
Нормальний ($k = 1.93..2.066$)	76%	29%

При цьому, як видно із рис.5, простежується певна закономірність, а саме: у діапазоні робочих витрат $q_{min}..0,2q_{max}$ закон розподілу результатів вимірювання об'єму газу турбінними лічильниками відповідає нормальному розподілу, у діапазоні $0,2q_{max}..q_{max}$ – розподілу Лапласа. Підтвердженням виду закону розподілу можуть слугувати експериментально отримані види щільності ймовірності результатів вимірювань, які подані на рис.6.



а)



б)

Рис. 6. Графік густини розподілу імовірностей для лічильника G400:

а) при $\bar{q} = 25,49 \text{ м}^3/\text{год}$ б) при $\bar{q} = 649,98 \text{ м}^3/\text{год}$

Крім того, з метою підвищення достовірності визначення закону розподілу вимірювання об'єму газу здійснено оцінювання впливу зміни температури, тиску та

об'ємної витрати на формування виду закону розподілу результатів вимірювання. Для цього за допомогою побудови матриць планування експерименту методом Латинського квадрата експериментально встановлено, що на формування виду закону розподілу впливовим є тільки значення об'ємної витрати газу, оскільки за критерієм Фішера виконується умова не перевищення його табличних значень для параметрів тиску та температури, в той час, як для робочих значень об'ємної витрати числове розраховані значення є більшими від критеріальних.

Одержані висновки дозволяють з більшою достовірністю оцінювати випадкову складову похибки результатів вимірювання з врахуванням конкретного закону розподілу і робочої витрати через лічильник, що відображено у четвертому розділі дисертації. Врахування виду закону розподілу результатів вимірювання турбінними лічильниками газу дає можливість підвищити оцінку точності не менше як на 0,05% шляхом уточнення діапазону зміни випадкової складової похибки результатів вимірювання об'єму за різних витратних режимів турбінних лічильників газу.

У четвертому розділі викладено суть запропонованих удосконалених методів оцінювання точності турбінних лічильників газу. Удосконалення полягає у врахуванні систематичної складової похибки та застосуванні методів математичної статистики при визначенні довірчих меж результатів вимірювання з урахуванням їх закону розподілу, що реалізується запропонованим алгоритмом (рис.7).

У розділі відображена методика врахування теоретичного модельного значення коефіцієнта перетворення турбінного лічильника газу при його калібруванні на базі рівняння (7). Для практичного втілення даного підходу, який слугує для коригування систематичної складової похибки, попередньо уточнюються перед калібруванням лічильника наступні параметри: кут нахилу лопаті, зовнішній та внутрішній радіуси турбіни, площа поверхні леза лопаті, кількість лопатей турбіни, внутрішній діаметр труби, в якій змонтовано турбінний лічильник. Визначення систематичної складової похибки лічильника необхідно здійснювати на всьому діапазоні робочих витрат, задаючи при цьому ряд фіксованих значень об'ємної витрати. При цьому їх кількість повинна бути не менше п'яти і може бути більшою в залежності від типорозміру турбінного лічильника, що попередньо конкретизується за результатами експериментальних досліджень.

Оцінювання систематичної складової похибки еталонного турбінного лічильника відбувається за наступним алгоритмом:

– оцінка абсолютного відхилення Δ_{ic} між теоретичними значеннями номінального $K_{i_ном}$ та модельного $K_{i_мод}$ коефіцієнта перетворення лічильника K для i -го значення робочої витрати:

$$\Delta_{ic} = K_{i_ном} - K_{i_мод}; \quad (12)$$

– поправка ∇_i на значення систематичної складової похибки для i -го значення робочої витрати:

$$\nabla_i = -\Delta_{ic};$$

– відносне значення систематичної похибки Δ_{ic} еталонного лічильника:

$$\Delta_E = \frac{K_{i_ном} + \nabla_i - K_{i_експ}}{K_{i_експ}} \times 100\%, \quad (13)$$

де $K_{i_експ}$ – експериментальне значення коефіцієнта перетворення турбінного лічильника отримане під час його калібрування;

– відносна похибка зумовлена дискретністю інформаційних імпульсів $\Delta_{імн}$ з еталонного лічильника:

$$\Delta_{імн} = \frac{2}{N_{\min}} \times 100\%, \quad (15)$$

де N_{\min} – мінімальна кількість імпульсів, що відповідає пропушеному контрольному об'єму при калібруванні лічильника;

– границі невилученої систематичної похибки еталонного лічильника:

$$\Theta = 1.1 \times \sqrt{\Delta_E^2 + \Delta_{імн}^2}. \quad (16)$$

У практичному аспекті застосування корекції систематичної похибки турбінного лічильника необхідно ввести в його коректор значення поправок ∇_j на розрахунок коефіцієнта перетворення лічильника або алгоритм їх визначення для різних робочих витрат.

Особливість визначення випадкової складової похибки турбінного лічильника полягає у розрахунку ентропійного коефіцієнта за результатами багаторазових вимірювань для кожної j -ї робочої витрати з метою ідентифікації закону розподілу та обчислення на його базі похибки турбінного лічильника. При цьому використовується формула:

$$t_{\Sigma_j} = \frac{\Theta + k \cdot \sigma_{K_j}}{S_{\Theta} + \sigma_{K_j}}, \quad (17)$$

де k – ентропійний коефіцієнт; $S_{\Theta} = \frac{\Theta}{\sqrt{3}}$, σ_{K_j} – середнє квадратичне відхилення експериментального значення коефіцієнта перетворення турбінного лічильника.

Далі обчислюють довірчі границі відносної похибки еталонного турбінного лічильника для j -того значення робочої об'ємної витрати із врахуванням ентропійного коефіцієнта та поправки на систематичну складову похибки:

$$\delta_j = \pm t_{\Sigma_j} \cdot \sqrt{S_{\Theta}^2 + \sigma_{K_j}^2}. \quad (18)$$

Методика розрахунку значення ентропійного коефіцієнта полягає у відтворенні не менше як 10 дослідів для знаходження усередненого значення об'ємної витрати, побудові гістограми частот для отриманої вибірки, визначенні ентропійного коефіцієнта за формулою (10). Далі встановлюються значення ентропійного коефіцієнта у кожній контрольній точці робочої витрати і здійснюється апроксимація ентропійного коефіцієнта від об'ємної витрати. Приклад для типорозмірів G400 подається формулами (11)-(12).

У цьому розділі також здійснено експериментальне підтвердження методики опрацювання вимірювальної інформації турбінних лічильників газу, що дало можливість здійснити кількісний порівняльний аналіз складових невизначеностей

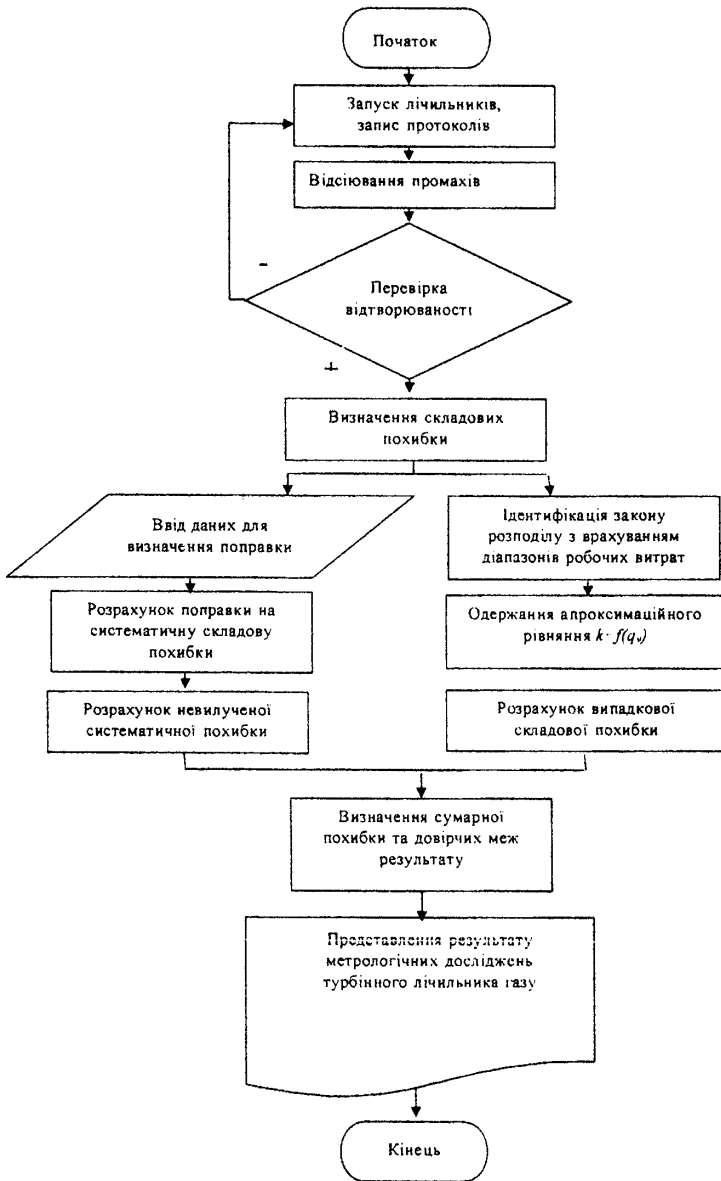


Рис. 7. Удосконалений алгоритм визначення похибки турбінного лічильника газу

результатів вимірювання об'єму. При цьому розширена невизначеність об'ємної витрати при заданому значенні $50\text{ м}^3/\text{год}$ для лічильника G400 становитиме $U_{0,95}(q_v = 50\text{ м}^3/\text{год}) = 0,267\%$ порівняно із $U_{0,95}(q_v = 50\text{ м}^3/\text{год}) = 0,267\%$, а при об'ємній витраті $200\text{ м}^3/\text{год}$ зменшується від $U_{0,95}(q_v = 200\text{ м}^3/\text{год}) = 0,25\%$ до $U_{0,95}(q_v = 200\text{ м}^3/\text{год}) = 0,232\%$. З одержаних результатів можна зробити висновок, що врахування закону розподілу результатів вимірювання об'ємної витрати турбінним лічильником газу дає можливість підвищити оцінку точності та достовірності результатів вимірювання об'єму газу турбінних лічильників.

У розділі відображена суть розробленого проекту нормативного документу з методики калібрування турбінних лічильників на реальному середовищі при їх застосуванні як еталонних засобів вимірювання об'єму природного газу.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень методів оцінювання точності турбінних лічильників газу здійснено удосконалення наукових і прикладних (в аспекті інформаційного забезпечення) підходів щодо покращення їх метрологічних характеристик, а також розроблений проект нормативного документа для проведення калібрування турбінних лічильників, що є практичним результатом впровадження удосконалених методів оцінювання точності функціонування турбінних лічильників. При цьому отримані такі наукові та практичні результати:

1. Проведено моделювання функціонування турбінних лічильників газу, за результатами якого запропоновано використовувати математичну модель, яка враховує конструктивні параметри турбіни, критерії подібності гідродинамічних потоків турбіни, умови її експлуатації та параметри природного газу, що на відміну від існуючих моделей дозволяє зменшити похибку репрезентативності даних у 2,5 рази і коригувати систематичну складову похибки турбінних лічильників газу на стадії проектування і метрологічної атестації в межах до 0,1–0,2%.

2. Експериментально досліджено метрологічні характеристики турбінних лічильників газу вітчизняного виробництва ВАТ Івано-Франківський завод «Промприлад» (м.Івано-Франківськ) моделей ЛГ-К-Ех типорозмірів G160 та G400 на реальному середовищі і встановлені види законів розподілу результатів вимірювання об'єму газу за різних заданих фіксованих значень об'ємної витрати. За результатами досліджень встановлено, що закон розподілу результатів вимірювання об'єму газу для турбінного лічильника типорозміром G400 в діапазоні витрат $q_{\min} \dots 0,2q_{\max}$ є нормальний, а в діапазоні $0,2q_{\max} \dots q_{\max}$ характеризується розподілом Лапласа, що дає можливість підвищити оцінку точності результатів вимірювання не менше як на 0,05% шляхом уточнення діапазону зміни випадкової складової похибки результатів вимірювання об'єму за різних витратних режимів турбінних лічильників газу.

3. За результатами теоретичних досліджень, здійснено оцінювання впливу параметрів природного газу на коефіцієнт перетворення турбінного лічильника газу та обґрунтовано необхідність врахування параметрів робочого середовища при визначенні коефіцієнта перетворення еталонних лічильників, оскільки зміна густини та абсолютної температури на 10% призводять до зміни коефіцієнта перетворення

лічильника на 0,01% та 0,007% відповідно. Водночас вплив зміни вмісту азоту та діоксиду вуглецю в природному газі на коефіцієнт перетворення лічильника є суттєво меншими.

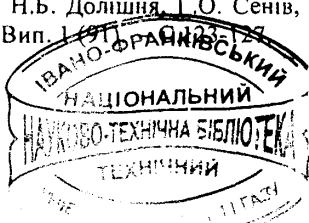
4. Вдосконалено концепцію застосування методів математичної статистики шляхом ідентифікації виду закону розподілу на базі інформаційного підходу з використанням ентропійного коефіцієнта при опрацюванні результатів вимірювання об'єму природного газу турбінними лічильниками, що дозволяє підвищити оцінку точності та достовірності результатів вимірювання об'єму природного газу турбінними лічильниками, а саме зменшити розширену невизначеність результату визначення коефіцієнта перетворення турбінного лічильника на 1,1% при об'ємній витраті $50\text{ м}^3/\text{год}$ та на 7,2% при $200\text{ м}^3/\text{год}$ шляхом врахування виду закону розподілу.

5. Удосконалено методи оцінювання точності турбінних лічильників газу шляхом одночасного коригування систематичної складової похибки результатів вимірювання об'єму та оцінювання випадкової складової, які лягли в основу розроблення нормативного документу з оцінювання точності турбінних лічильників газу при їх калібруванні, що відкриває нові практичні аспекти створення еталонних засобів вимірювання об'єму газу.

6. Розроблено та впроваджено у ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» нормативний документ МК 03/03-2013 «Метрологія. Турбінні лічильники газу. Методика калібрування», який дозволяє метрологічно атестувати турбінні лічильники як еталонні засоби при їх роботі на природному газі, чим розширюється сфера практичного застосування цих лічильників в еталонній витратометрії і в цілому досягається покращення метрологічного забезпечення промислових засобів обліку природного газу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ключко Н.Б. Вдосконалення методів оцінювання точності турбінних лічильників газу /Н.Б. Ключко, С.А.Чеховський// Метрологія та прилади. – 2014. – №11(45). – С.101-105. (Наукометрична публікація в базі даних Index Copernicus)
2. Чеховський С.А. Розробка віртуальних лабораторних стендів для вимірювання тиску, температури та витрати /С.А. Чеховський, Н.М. Піндус, Л.А. Витвицька, В.В. Остапів, Н.Б.Долішня, С.М. Белей, Б.І. Прудніков// Системи обробки інформації. – 2010. – Вип 4(85). – С.77-80.
3. Долішня Н.Б. Застосування параметричних підходів для перевірки закону розподілу статистичних даних в умовах обмеженого об'єму вибірок /Н.Б. Долішня, Н.М. Піндус, С.А. Чеховський// Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2010. – Вип. 4 (26). – С.112-114.
- 4.Чеховський С.А. Дослідження метрологічних характеристик витратовимірювального комплексу для виявлення витоків природного газу в газорозподільних мережах /С.А. Чеховський, Б.І. Прудніков, О.Є. Середюк, Н.М. Піндус, Н.Б. Долішня, Г.О. Сенів, І.О. Ярошенко// Системи обробки інформації. – 2011. – Вип. 1(97).



5. Долішня Н.Б. Порівняльний аналіз теоретичних методів статистичної обробки експериментальних даних /Н.Б. Долішня, Н.М. Піндус // Математичне моделювання. – 2012. – Вип. № 1(26). – С.62-65.

6. Долішня Н.Б. Підвищення точності опосередкованого вимірювання витрати газу з урахуванням властивостей потоку та фізичних основ роботи турбінних лічильників /Н.Б. Долішня, Л.А. Витвицька, Н.М. Піндус// Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – № 06(82). – С.198-204.

7. Долішня Н.Б. Вдосконалення алгоритму опрацювання результатів вимірювання витрати природного газу турбінним лічильником газу / Н.Б. Долішня // Нафтогазова енергетика. – 2012. – № 2(18). - С.127-131.

8. Чеховський С.А. Дослідження поведінки критерія Грабса для вибірок різного об'єму на базі експериментальних даних вихорового перетворювача витрати газу типу «ИРВИС-К-300»/С.А. Чеховський, Н.М. Піндус, Н.Б. Долішня// Приладобудування 2008: стан і перспективи: 7-а міжнародна наукова.-техн. конф., 22–23 квітня 2008 р., Київ: зб. тез доп. – Київ: ПФФ,НТУУ “КПІ”, 2008.– С.240-241

9.Середюк О.С. Порівняльна характеристика зразкових витратовимірювальних установок та їх метрологічне забезпечення / О.Є. Середюк, Н.М. Піндус, Н.Б. Долішня, В.В. Остапів, С.А. Чеховський // Вимірювання витрати та кількості газу: 6-та всеукраїнська наук.-техн. конф., 20-21 жовтня 2009р., Івано-Франківськ: зб. тез доп. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, Факел, 2009. – С.38-39.

10. Долішня Н.Б. До питання застосування статистичних методів обробки експериментальних даних / Н.Б. Долішня, Н.М. Піндус, С.А. Чеховський // Приладобудування 2010: стан і перспективи: 9-а наук.–техн. конф., 27–28 квітня 2010 р., Київ: зб. тез доп. – Київ: ПФФ,НТУУ “КПІ”, 2010.– С.105.

11. Чеховський С.А. Дослідження теоретичних методів статистичної обробки вимірювання витрати газу з урахуванням властивостей потоку та фізичних основ роботи турбінних лічильників / С.А. Чеховський, Н.Б. Долішня, Н.М. Піндус // Вимірювання витрати та кількості газу: 7-ма всеукраїнська наук.–техн. конф., 25–27 жовтня 2011 р., Івано-Франківськ: зб. тез доп. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, Факел, 2011.– С.88-90.

12. Сенів Г.О. Метрологічне забезпечення вимірювального комплексу для виявлення втрат природного в газорозподільних мережах / Г.О. Сенів, І.О. Ярошенко, Т.В. Марчук, Н.Б. Долішня, Н.М. Піндус// Приладобудування 2012: стан і перспективи: 11-а міжнародна наук.–техн. конф., 24–25 квітня 2012 р., Київ: зб. тез доп. – Київ: ПФФ,НТУУ “КПІ”, 2012.– С.253-254.

13. Долішня Н.Б. Впровадження інноваційних технологій навчання при вивченні проблем обліку витрати газу /Н.Б. Долішня, Н.М. Піндус, С.А. Чеховський, Л.А. Витвицька// Дистанційна освіта: стан і перспективи для технічних спеціальностей 1-а всеукраїнська наукова-метод. конф., 10-12 жовтня 2012р, Івано-Франківськ: зб. тез доп. – Івано-Франківськ:ІФНТУНГ, Факел, 2012. – С.94-95.

14. Метрологія. Турбінні лічильники газу. Методика калібрування: МК 03/03-2013 / Я.Безгачнюк, В.Гулик, П. Джочко, Н Ключко. – [Чинна від 2013-06-07]. – Івано-Франківськ: ДП "Івано-Франківськстандартметрологія", 2013. – 13 с. – (Нормативний документ Мінскономрозвитку України: Інструкція).

АНОТАЦІЯ

Клочко Н.Б. Удосконалення методів оцінювання точності турбінних лічильників газу. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2014.

У дисертації проведено аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку методів оцінювання точності турбінних лічильників газу в науково-прикладних, нормативних та технічних аспектах.

Розроблено графічну модель та удосконалено математичну модель процесу функціонування турбінного лічильника газу шляхом врахування конструктивних параметрів турбіни, умов її експлуатації та параметрів природного газу на метрологічні характеристики турбінних лічильників газу. Розроблено алгоритм коригування систематичної складової похибки вимірювання об'єму газу турбінними лічильниками.

Проведено оцінювання видів закону розподілу результатів вимірювання турбінними лічильниками на основі експериментальних досліджень на реальному середовищі. Це дало змогу підвищити оцінку точності результатів вимірювання шляхом уточнення діапазону зміни випадкової складової похибки результатів вимірювання газу.

Удосконалено методи оцінювання точності турбінних лічильників газу шляхом одночасного коригування систематичної складової похибки результатів вимірювання об'єму газу та оцінювання випадкової складової, що за результатами апробації дало можливість підвищити точність та достовірність результатів вимірювання турбінними лічильниками. Розроблено та впроваджено нормативний документ з практичного застосування удосконаленого методу оцінювання точності турбінних лічильників газу при їх калібруванні.

Ключові слова: турбінний лічильник, природний газ, систематична похибка, закон розподілу, випадкова похибка, об'ємна витрата, математична модель.

АННОТАЦИЯ

Клочко Н.Б. Совершенствование методов оценки точности турбинных счетчиков газа. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.02 - стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение. - Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2014.

В диссертации проведен анализ современного состояния и тенденций развития методов оценки точности турбинных счетчиков газа в научно-прикладных, нормативных и технических аспектах.

Разработана графическая модель и усовершенствована математическая модель процесса функционирования турбинного счетчика газа путем учета конструктивных параметров турбины, условий ее эксплуатации и параметров природного газа на метрологические характеристики турбинных счетчиков газа.

Разработан алгоритм корректировки систематической составляющей погрешности измерения объема газа турбинными счетчиками.

Проведена оценка видов закона распределения результатов измерения объема турбинными счетчиками на основе экспериментальных исследований их метрологических характеристик на реальной среде. Это дало возможность повысить оценку точности результатов измерения путем уточнения диапазона изменения случайной составляющей погрешности результатов измерения объема при различных расходных режимах турбинных счетчиков газа.

Усовершенствованы методы оценки точности турбинных счетчиков газа путем одновременного корректировки систематической составляющей погрешности и оценки случайной составляющей. По результатам апробации это позволило повысить точность и достоверность результатов измерения турбинными счетчиками.

Разработан и введен нормативный документ по практическому применению усовершенствованного метода оценки точности турбинных счетчиков газа при их калибровке.

Ключевые слова: турбинный счетчик, природный газ, систематическая погрешность, закон распределения, случайная погрешность, объемный расход, математическая модель.

ABSTRACT

Klochko N.B. An improvement of methods for assessing the accuracy of turbine gas meters. - On the manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.01.02 - standardization, certification and metrology software. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2014.

The thesis analyzes the current state and trends assessment methods accuracy of turbine gas meters in applied scientific, regulatory and technical aspects.

There was developed a graphical model and improved a mathematical model of the turbine gas meter operation by taking into account the design parameters of the turbine, operation conditions and natural gas parameters on the turbine gas meters metrological characteristics. Based on the improved model there was developed an algorithm of adjustment the systematic error component of measuring by turbine gas meters.

Estimation of the distribution law based on experimental results was studied. This made it possible to increase the estimation of measurement accuracy by clarifying the random component of uncertainty of measurement results.

As a result, the methods for assessing the accuracy of turbine gas meters were improved by simultaneous adjustment of systematic error component and evaluation of the random component. It made possible to improve the accuracy and reliability of turbine meters measurement.

There was designed and implemented the normative documents on the practical application of improved assessing the accuracy method for turbine gas meters during their calibration.

Keywords: turbine meters, natural gas, systematic error, the distribution law of the random error, the volumetric flow

