

УДК 681.121

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ЛІЧИЛЬНИКАМИ З ЕЛЕКТРОННИМИ ПРИСТРОЯМИ ТЕМПЕРАТУРНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ

М. В. Кузь¹⁾, О. Є. Середюк²⁾

1) – Івано-Франківський університет права імені Короля Данила Галицького, вул. Є. Коновальця, 35, м. Івано-Франківськ, 76018, тел. (067) 9498731, e-mail: kuz@list.ru

2) – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ 76019, тел. (03422)46077, e-mail: feivt@nung.edu.ua

Проаналізовані методології визначення поправочних коефіцієнтів до показів побутових лічильників газу для випадків вимірювання тиску і температури природного газу (розрахунковий метод) та за умови використання пристроїв температурної компенсації. Розроблені математичні моделі для розрахунку поправочних коефіцієнтів від впливу зміни абсолютного тиску газу без необхідності його вимірювання. Запропоновано в лічильниках газу з механічними пристроями температурної компенсації та електронними пристроями температурної корекції виміряних об'ємів газу здійснювати коригування результатів вимірювання на базі значень абсолютного тиску газу, які розраховуються за результатами фактично виміряних середньомісячних значень температур газу. Ключові слова: поправочний коефіцієнт, температура, абсолютний тиск, природний газ, пристрій температурної компенсації, лічильник газу.

Проанализированы методологии определения поправочных коэффициентов к показаниям бытовых счетчиков газа для случаев измерения давления и температуры газа (расчетный метод) и при использовании устройств температурной компенсации. Разработаны математические модели для расчета поправочных коэффициентов от влияния абсолютного давления газа без необходимости его измерения. Предложено в счетчиках газа с механическими устройствами температурной компенсации и электронными устройствами температурной коррекции измеренных объемов газа осуществлять корректировку результатов измерения на базе значений абсолютного давления газа, которые рассчитываются по результатам фактически измеренных среднемесячных значений температур газа.

Ключевые слова: поправочный коэффициент, температура, абсолютное давление, природный газ, устройство температурной компенсации, счетчик газа.

Analyzed the methodology of determining correction factors to the views of domestic gas meters for the cases of pressure and temperature of natural gas (current method) and if the use of temperature compensation devices. Mathematical models for calculating the correction factor from the effects of absolute pressure of gas without the need for its measurement. Proposed in the gas meter with mechanical devices, temperature compensation and temperature correction of electronic devices measured volumes of gas to correction of measurement results based on values of absolute pressure of gas, which are calculated according to the results actually measured values of average gas temperature.

Keywords: correction factor, temperature, absolute pressure, natural gas, the device temperature compensation, gas meter.

Чинний нормативний документ [1] встановлює умови для визначення об'єму природного газу при взаємних розрахунках зі споживачами. Відповідно до даного стандарту, об'єм газу повинен приводитися до наступних умов:

- температура 20 °C (293,15 °K);
- тиск 760 мм рт. ст. (101325 Н/м²);
- вологість дорівнювати 0.

У промисловості для обліку природного газу використовуються вимірювальні комплекси об'єму газу на базі лічильників газу [2, 3] та

електронних коректорів (обчислювачів) об'єму газу [4]. Такі вимірювальні системи забезпечують приведення виміряного в реальних умовах об'єму природного газу до стандартних умов.

Використання електронних коректорів об'єму газу в побутовому секторі не знайшло застосування внаслідок значної їх вартості, оскільки термін їхньої окупності більший за термін експлуатації побутових лічильників газу. Як наслідок, більша частка побутових лічильників газу обліковує природний газ в реальних умовах, не приводячи його до стандартних умов.

Найвпливовішим фактором на точність вимірювання об'єму газу є його температура, яка протягом року змінюється в досить широкому діапазоні. В табл. 1 наведені найнижчі (в січні) та найвищі (в липні) середньомісячні температури газу в газопроводах України [5], якими газ транспортується до побутових споживачів.

Як видно із табл. 1, максимальний діапазон зміни середньомісячних температур газу становить $-7,9...+23,2$ °С. Відхилення температури газу на 1 °С від стандартного значення температури (20 °С) приводить до зміни облікованого об'єму природного газу на 0,34 %. В такому випадку похибка обліку газу буде знаходитися в діапазоні $-9,5...+1,1$ %.

Другим за величиною впливу на обліковані об'єми газу є абсолютний тиск газу, складовими якого є атмосферний та надлишковий тиски. Середньомісячні значення атмосферного тиску в містах України досліджені в [5]. Мінімум необхідний надлишковий тиск газу, який забезпечує роботу побутового газового обладнання становить (1800–2000) Па. З урахуванням вищенаведеного, обчислені абсолютні тиски газу, що транспортується до побутових споживачів.

За результатом обчислень є очевидним, що максимальний діапазон зміни абсолютних тисків природного газу становить $99391,72...103564,7$ Па. Відхилення тиску газу на 1 кПа від стандартного значення тиску (101325 Па) приводить до зміни облікованого об'єму природного газу на 1 %. В такому випадку похибка обліку газу буде знаходитися в діапазоні $-2,2...+1,9$ %.

Частина побутових лічильників газу, що обліковують природний газ, містять елементи температурної компенсації (біметалічні пластили). Об'єм газу, облікований такими лічильниками, приводиться до стандартних умов за формулою [5]:

$$V_c = V \frac{T_c}{T}, \quad (1)$$

де V_c – об'єм природного газу приведений до стандартних умов, м³; V – об'єм газу, облікований лічильником при реальних значеннях тиску та температури газу, м³; $T_c = 293,15$ °К – значення температури газу за стандартних умов; T – реальна температура газу, облікованого лічильником, К.

Таблиця 1 – Середньомісячні температури газу в газопроводах низького тиску

Область	Середньомісячна температура, °С	
	в січні	в липні
Автономна республіка Крим	-1,0	21,8
Дніпропетровська	-5,4	22,3
Донецька	-6,6	21,6
Запорізька	-4,9	22,8
Кіровоградська	-5,6	20,2
Луганська	-6,6	22,3
Миколаївська	-3,5	23,2
Одеська	-2,5	22,2
Херсонська	-3,2	23,0
Вінницька	-6,0	18,7
Київська	-5,9	19,8
Полтавська	-6,9	20,6
Сумська	-7,9	19,3
Тернопільська	-5,4	18,4
Харківська	-7,3	20,8
Хмельницька	-5,6	18,6
Черкаська	-5,8	20,0
Чернівецька	-5,0	19,3
Волинська	-4,9	18,6
Житомирська	-5,7	18,9
Івано-Франківська	-5,1	18,5
Львівська	-5,0	17,4
Рівненська	-5,4	18,5
Чернігівська	-6,7	19,4
Закарпатська	-3,1	20,5

Відомі розрахункові методи приведення облікованих побутовим лічильниками об'ємів газу до стандартних умов [6, 7]. Однак для реалізації цих методів необхідно додатково

вимірювати температуру повітря навколишнього середовища.

Метою даної роботи є вдосконалення методики приведення об'єму газу, облікованого лічильниками газу з елементами температурної компенсації, яка враховує зміну абсолютного тиску газу і вилучає необхідність додаткового вимірювання цього тиску.

Для оцінки методичних аспектів проаналізуємо експериментальні дані про середньомісячні температури повітря (табл. 2) та середньомісячні атмосферні тиски (табл. 3) за 2011 рік в двох обласних центрах України, які розміщені найвище та найнижче над рівнем моря: в м. Хмельницькому (350 м) та в м. Одесі (42 м) [8].

Таблиця 2 – Середньомісячна температура повітря та атмосферний тиск в м. Хмельницькому в 2011 р.

Місяць	Температура повітря, °К	Атмосферний тиск, Па
Січень	270,94	97727,69
Лютий	268,6	97682,36
Березень	275,89	98092,99
Квітень	284,47	97409,05
Травень	290,89	99286,23
Червень	293,97	97279,73
Липень	294,94	97018,42
Серпень	294,28	97533,04
Вересень	291,38	97682,36
Жовтень	282,18	98043,67
Листопад	276,35	98438,3
Грудень	274,99	97325,06

В [9] автором встановлена апроксимаційна залежність середньомісячних значень атмосферного тиску повітря від середньомісячної температури повітря та висоти розташування точки вимірювання цих параметрів над рівнем моря, яка описується формулою:

$$p_a = \left[(359,88 - 0,0342h) + (17,707 - -0,0134h) \cdot \cos(0,523599(n-1)) \right] \times (t_n + 273,15), \quad (2)$$

де p_a – апроксимований середньомісячний атмосферний тиск повітря, Па; t_n – середньо-

місячна температура повітря, °С; h – висота точки вимірювання над рівнем моря, м; n – номер місяця в році (січень – 1, грудень – 12), $n = 1 \dots 12$.

Таблиця 3 – Середньомісячна температура повітря та атмосферний тиск в м. Одесі в 2011 р.

Місяць	Температура повітря, °К	Атмосферний тиск, Па
Січень	273,59	101654,03
Лютий	271,47	101418,05
Березень	277,81	101788,68
Квітень	284,28	100887,42
Травень	290,68	101156,73
Червень	295,22	100639,45
Липень	297,95	100520,79
Серпень	297,62	102531,28
Вересень	293,47	101227,39
Жовтень	278,23	101580,7
Листопад	278,48	102224,64
Грудень	278,39	101268,72

Крім того, в [9] приведені конкретизовані апроксимаційні залежності середньомісячних значень атмосферного тиску повітря від середньомісячних температур повітря для кожного окремого обласного центру України. Зокрема, для м. Хмельницького ця залежність описується формулою:

$$p_{ax} = [349,12 + 13,79 \cdot \cos(0,523599(n-1))] \times (t_n + 273,15). \quad (3)$$

Для м. Одеси дана залежність є такою:

$$p_{ao} = [357,42 + 15,92 \cdot \cos(0,523599(n-1))] \times (t_n + 273,15). \quad (4)$$

Об'єм газу, приведений до стандартних умов, визначається за формулою:

$$V_c = V \frac{T_c}{p_c} \frac{p}{T}, \quad (5)$$

де $p_c = 101325$ Па – значення абсолютного тиску газу за стандартних умов; p – фактичний абсолютний тиск газу, облікованого лічильником (Па), який визначається за формулою:

$$p = p_a + p_n \approx p_{no} + 2000, \quad (6)$$

де p_a – атмосферний тиск повітря; p_n – надлишковий тиск газу.

З урахуванням формул (3) та (6) формула (5) для м. Хмельницького набуде вигляду:

$$V_{cx} = V \cdot \frac{293,15}{101325 \cdot (t_n + 273,15)} \times \\ \times [(349,12 + 13,79 \cdot \cos(0,523599(n-1))) \times \\ \times (t_n + 273,15) + 2000]. \quad (7)$$

Аналогічно для м. Одеси формула (5) з урахуванням формул (4) та (6) матиме вигляд:

$$V_{co} = V \cdot \frac{293,15}{101325 \cdot (t_n + 273,15)} \times \\ \times [(357,42 + 15,92 \cdot \cos(0,523599(n-1))) \times \\ \times (t_n + 273,15) + 2000]. \quad (8)$$

Узагальнена формула для визначення облікованих об'ємів газу в будь-якому регіоні України на основі формули (5) з урахуванням формул (2) та (6) матиме вигляд:

$$V_{cy} = V \cdot \frac{293,15}{101325 \cdot (t_n + 273,15)} \times \\ \times \left[\begin{aligned} &(359,88 - 0,0342h) + \\ &+ (17,707 - 0,0134h) \times \\ &\times \cos(0,523599(n-1)) \end{aligned} \right] \times \\ \times (t_n + 273,15) + 2000]. \quad (9)$$

Для оцінки ефективності розроблених математичних моделей (7), (8) та (9) у порівнянні з приведенням вимірних лічильниками об'ємів газу до стандартних умов за формулою (5) та коригуванням об'ємів за допомогою термокомпенсатора за формулою (1) використаємо відносну величину: поправочний коефіцієнт до показів лічильника газу, що визначається за формулою:

$$k = \frac{V_c}{V}. \quad (10)$$

Тому коригувальні коефіцієнти для випадку приведення вимірних об'ємів газу до стандартних умов за результатами вимірювання абсолютного тиску та температури газу за формулою (5) визначаються за формулою:

$$k = \frac{T_c}{p_c} \frac{p}{T}. \quad (11)$$

Аналогічні коефіцієнти для випадку використання лічильника тільки з елементами температурної компенсації, фізичний принцип роботи якого описується формулою (1), визначаються за формулою:

$$k_T = \frac{T_c}{T}. \quad (12)$$

Апроксимоване значення коефіцієнтів для випадку приведення вимірних об'ємів газу до стандартних умов за узагальненою формулою для будь-якого регіону України (9) визначаються за формулою:

$$k_a = \frac{293,15}{101325 \cdot (t_n + 273,15)} \times \\ \times \left[\begin{aligned} &(359,88 - 0,0342h) + \\ &+ (17,707 - 0,0134h) \times \\ &\times \cos(0,523599(n-1)) \end{aligned} \right] \times \\ \times (t_n + 273,15) + 2000]. \quad (13)$$

У випадку приведення вимірних об'ємів газу в м. Хмельницькому до стандартних умов за формулою (7) поправочні коефіцієнти до показів лічильників газу визначатимуться за наступною формулою:

$$k_{ax} = \frac{293,15}{101325 \cdot (t_n + 273,15)} \times \\ \times [(349,12 + 13,79 \cdot \cos(0,523599(n-1))) \times \\ \times (t_n + 273,15) + 2000]. \quad (14)$$

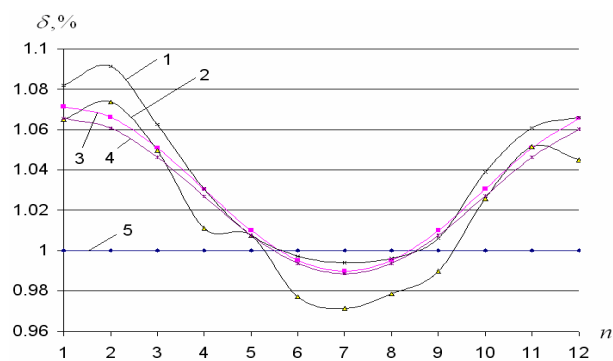
Для приведення вимірних об'ємів газу в м. Одесі до стандартних умов за формулою (8) поправочні коефіцієнти до показів лічильників газу визначатимуться за наступною формулою:

$$k_{ao} = \frac{293,15}{101325 \cdot (t_n + 273,15)} \times \\ \times [(357,42 + 15,92 \cdot \cos(0,523599(n-1))) \times \\ \times (t_n + 273,15) + 2000]. \quad (15)$$

Обчислені за формулами (11)÷(14) поправочні коефіцієнти до облікованих об'ємів газу в м. Хмельницькому за даними, наведеними в табл. 2, зображені на рис. 1.

Поправочні коефіцієнти до облікованих об'ємів газу в м. Одесі, обчислені за формулами (11)÷(13) та (15) та даними, наведеними в табл.3, зображені на рис. 2.

Як видно із рис. 1 відхилення обчислених за формулами (13) і (14) значень (криві 3 і 4) від дійсних даних для випадку приведення вимірних об'ємів газу до стандартних умов за результатами вимірювання абсолютного тиску та температури газу (крива 2) мають елементи систематизованого впливу (тренду), тобто вони відхиляються і у додатну, і у від'ємну сторони. Отже залежності, що описується формулами (13) та (14), можуть бути використані для описування дійсних даних та розрахунків поправочних коефіцієнтів до облікованих об'ємів газу в м. Хмельницькому. Крива 1, яка розрахована за формулою (12), від кривої 2 відхиляється тільки в додатну сторону і не може бути використана для розрахунків поправочних коефіцієнтів.

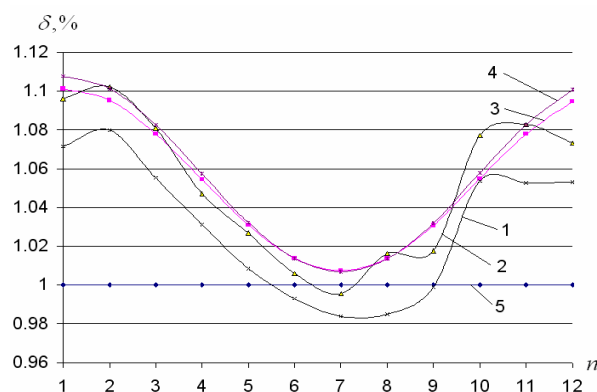


1 – за формулою (12); 2 – за формулою (11);
3 – за формулою (14); 4 – за формулою (13);
5 – коли температура і абсолютний тиск газу
рівні значенням за стандартних умов

Рисунок 1 – Поправочні коефіцієнти до облікованих об'ємів газу в м. Хмельницькому

Аналогічно, із рис. 2 видно, що відхилення обчислених за формулами (13) і (15) значень (криві 3 і 4) від дійсних даних (крива 2) мають також елементи тренду. Як і попередньому випадку, залежності, що описується формулами (13) та (15), можуть бути використані для описування дійсних даних та розрахунків поправочних коефіцієнтів до облікованих об'ємів газу в м. Одесі. Крива 1, обчислена за формулою (12), від кривої 2 відхиляється тільки у від'ємну сторону і, навіть, не торкається до кривої 2 в жодній точці. Тому вже також не може бути використана для розрахунків поправочних коефіцієнтів. Для кількісної оцінки залежностей зображених кривими 1, 3 та 4 і побудованими за формулами (12) ÷ (14) на рис. 1 і за формулами (12), (13), (15), необхідно обчислити середньоквадратичні відхилення значень, розрахованих за цими формулами від

дійсних даних, зображених кривою 2, що обчислені за формулою (11).



1 – за формулою (12); 2 – за формулою (11);
3 – за формулою (15); 4 – за формулою (13);
5 – коли температура і абсолютний тиск газу
рівні значенням за стандартних умов

Рисунок 2 – Поправочні коефіцієнти до облікованих об'ємів газу в м. Одесі

Середньоквадратичні відхилення визначаються за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - k_{di})^2}{n(n-1)}}, \quad (16)$$

де k_i – значення поправочних коефіцієнтів до облікованих об'ємів газу, обчислені за формулами (12) ÷ (14), в м. Хмельницького та за формулами (12), (13), (15) в м. Одесі відповідно; k_{di} – дійсні значення поправочних коефіцієнтів для тих же обласних центрів.

Обчислені за формулою (16) значення середньоквадратичних відхилень наведені в табл. 5.

Як видно із табл. 5, найгірше крива 2 апроксимується кривою, побудованою на основі обчислень за формулою (12), оскільки середнє квадратичне відхилення в даному випадку є найбільшим. Найбільш стабільно крива 2 описується за допомогою кривої, побудованої на основі обчислень за формулою (13). Це стосується даних як для м. Хмельницького, так і для м. Одесі. Числові значення середніх квадратичних відхилень даних, визначених за формулами (14) та (15), практично дорівнюють значенням, обчисленим за формулою (13). Отже, формула (13) може бути використана для визначення поправочних коефіцієнтів до облікованих об'ємів газу в будь-якому регіоні України.

Таблиця 5 – Середньоквадратичні відхилення поправочних коефіцієнтів, розрахованих за формулами (12) ÷ (15)

Обласний центр	Формула (12)	Формула (13)	Формула (14)	Формула (15)
м. Хмельницький	0,0050	0,0037	0,0042	
м. Одеса	0,0067	0,0037		0,0034

Залежність (13) може бути використана при проведенні інженерних розрахунків на стадії розроблення механічних пристроїв температурної компенсації (рис. 3) вимірюваних об'ємів газу побутовими лічильниками [5]. В такому випадку потрібно буде змінити градування шкали регулювальних пластин, врахувавши замість математичної моделі (12) розроблений коригувальний алгоритм (13).

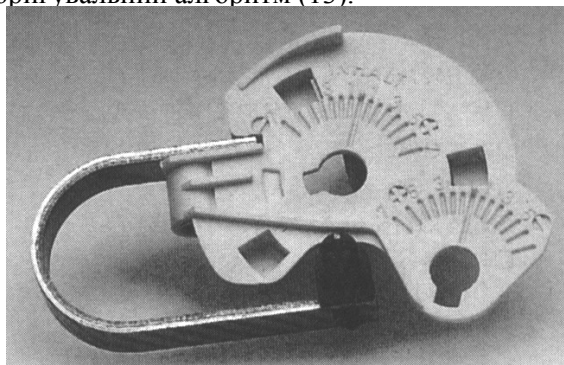


Рисунок 3 – Механічний пристрій температурної компенсації

Набагато простіше реалізувати математичну модель (13) в побутових лічильниках газу з електронним відліковим пристроєм (рис. 4), оскільки вона може бути внесена складовою частиною програмного забезпечення його функціонування.



Рисунок 4 – Лічильник газу з електронним відліковим пристроєм

Дані лічильники (рис. 4) дозволяють вести архіви помісячних значень облікованих об'ємів природного газу та вимірюваних середньомісячних температур газу, що дуже спрощує можливість модифікації конструкції електронного блоку лічильника у порівнянні з лічильниками з механічними термокомпенсаторами (рис. 3).

ВИСНОВКИ

Використання запропонованої методології при проектуванні механічних та електронних пристроїв температурної компенсації вимірюваних побутовими лічильниками об'ємів природного газу дозволить приводити ці об'єми до стандартних умов [1] без додаткового вимірювання абсолютного тиску газу.

Предметом подальших наукових досліджень буде експериментальна апробація розробленої математичної моделі (13) для інших регіонів України та розроблення рекомендацій по вдосконаленню конструкцій існуючих лічильників з елементами температурної компенсації.

1. Газы. Условия для определения объема: ГОСТ 2939-63. – [Чинний від 1964-01-01]. – М: Издательство стандартов 1988. – 2 с. – (Міждержавний стандарт). 2. Лічильники газу турбінні. Загальні технічні умови: ДСТУ EN 12261:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К: Держспоживстандарт України 2007. – 32 с. – (Національний стандарт України). 3. Лічильники газу роторні. Загальні технічні умови: ДСТУ EN 12480:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К: Держспоживстандарт України 2007. – 25 с. – (Національний стандарт України). 4. Коректори до лічильників газу електронні. Загальні технічні умови: ДСТУ EN 12405:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К: Держспоживстандарт України 2007. – 37 с. – (Національний стандарт України). 5. Кузьм. В. Методи та пристрої зменшення впливу кліматичних факторів на облік газу в комунально-побутовій сфері: Дис. канд. техн. наук: 05.11.01. – Львів, 2006. – 157 с. 6. Пат. 70683 А, МПК 7 G01 F5/00. Спосіб приведення

об'єму газу до стандартних умов/ Петришин І. С., Кузь М. В., Гончарук М. І., Панасик В. Л. Заявлено 23.12.2003; Опубл. 15.02.2006, Бюл. №2. 7. Петришин І. С. Визначення поправочного барометричного коефіцієнта до показів побутових лічильників газу графічним методом / І. С. Петришин, М. В. Кузь // *Прилади та методи контролю якості*. – 2005. – №13. – С. 59-61. 8. Погода на Gismeteo: (Архів погоди) [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.gismeteo.ru/diary/4952/2011>. 9. Кузь М. В. Експериментальні

дослідження залежності середньомісячних значень атмосферного тиску від температури повітря навколишнього середовища / М. В. Кузь, О. Є. Середюк // *Наукові вісті Галицької Академії*. – 2011. – №1. – С. 94–99.

Поступила в редакцію 13.04.2012 р.

**Рекомендував до друку докт. техн. наук,
проф. Кісіль І. С.**