

Дослідження та методи аналізу

УДК 622.691.4:536.2

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НАВКОЛИШНЬОГО ТА РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩ НА ДОСТОВІРНІСТЬ ОБЛІКУ ГАЗУ В КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВІЙ СФЕРІ

І.С.Петришин, М.В.Кузь

Державний центр стандартизації, метрології та сертифікації, 76007, Івано-Франківськ, вул. Вовчинецька, 127, тел. (03422) 30200, e-mail: nick@sert.il.if.ua

М.І.Гончарук

НАК "Нафтогаз України", 01001, Київ-1, вул. Б.Хмельницького, 6, тел. (044) 4612537, e-mail: spas@ugr.viaduk.net

Исследовано воздействие температуры окружающей и рабочей среды на изменение температуры газа в подземных, наземных газопроводах и газопроводах в помещениях, а также температуру газа на выходе счетчика.

The influence of environmental and operating temperature on the gas temperature in underground, terraneous gas lines and indoor gas lines including gas' temperature at the exit of counter.

Широке застосування природного газу як енергоносія в комунально-побутовому секторі в зв'язку з перерозподілом структури споживання газу між промисловістю і населенням ставить додаткові вимоги до підвищення точності його обліку. За останні десять років прискорений технічний розвиток засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) обліку споживання газу в побуті приніс багато нових ідей. Однією з них є використання побутових газових лічильників з температурною компенсацією (в першу чергу мембранних та ультразвукових). Але застосування вбудованих термокомпенсаторів (механічних та електронних) суттєво збільшує вартість такого лічильника. Цей захід може бути оправданий з точки зору втрат для газозбутових організацій у випадку установа лічильників поза межами приміщення, особливо в осінньо-зимовий період, коли втрати при вимірюванні об'єму газу побутовими лічильниками можуть складати для газозбутових організацій до 5-8% від всього об'єму спожитого газу. Установка лічильників поза межами приміщення, що характерне для наших західних сусідів (Угорщина, Словаччина, Чехія та ін.) у нашій державі практично не знайшла застосування, а тому постає питання доцільності придбання відносно дорогих лічи-

льників з вбудованими термокомпенсаторами, які будуть установлюватись в приміщеннях будинку чи квартири. Виходячи з теорії теплообміну реального газу в газопроводі з температурним полем ґрунту та природним температурним полем навколишнього середовища, спробуємо теоретично визначити температуру газу на виході із лічильника, яка згідно з [1] повинна бути характерною для приведення об'єму газу до нормальних умов.

При установці лічильника поза межами приміщення характерними є дослідження, наведені в [2]. Дані дослідження проводились таким чином. Мембранний лічильник типорозміру G6 установлювався надворі, тобто поза приміщенням. Вимірювалась температура газу на вході і на виході з лічильника і порівнювалась з температурою ґрунту на глибині 0,8м (тобто в місці розташування підземних газопроводів) і температурою атмосферного повітря (рис. 1). Результати досліджень наведені на рис. 2.

Аналіз результатів свідчить, що температура газу на виході з мембранних лічильників (до максимального типорозміру G10 включно) менше, ніж на 0,5°C відрізняється від температури атмосферного повітря. Це пояснюється

тим, що в лічильнику газ, що проходить з певною швидкістю, і внутрішня поверхня, створена камерами лічильника, роблять можливою дуже добру конвенцію, змушуючи працювати лічильник як теплообмінник.

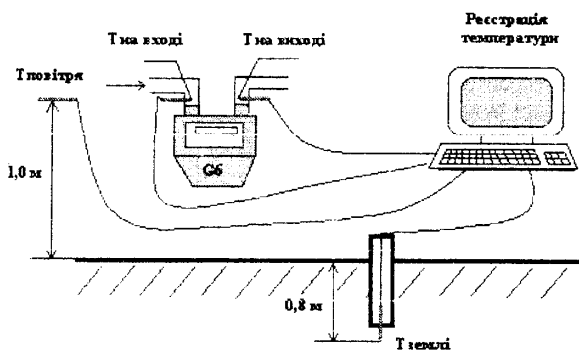


Рисунок 1 – Схема експерименту з визначення температури на виході з лічильника газу, встановленого надворі

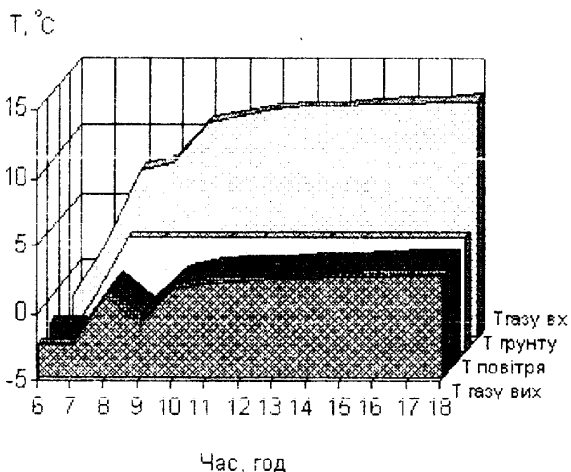


Рисунок 2 – Результати досліджень у випадку встановлення лічильника газу надворі

Тому з достатньою ймовірністю можна приймати температуру атмосферного повітря для розрахунків при приведенні об'єму спожитого газу до нормальних умов у випадку установки лічильників газу поза межами житлового приміщення, тобто надворі. Таким чином, знаючи середню температуру атмосферного повітря в даному регіоні впродовж кожного місяця та загальне споживання в даному місяці газу комунально-побутовими споживачами, можна вирахувати поправки до показів лічильника в кожному місяці або знайти середньозважений (залежно від об'ємів споживання) річний регіональний поправний коефіцієнт до показів побутових лічильників газу в експлуатації за рахунок температурних похибок.

Тепер спробуємо визначити температуру газу на виході з побутового лічильника, що установлений в середині приміщення, тобто при кімнатній температурі 18-22° С.

Для цього прослідкуємо за рухом реально-го газу в газопроводі і визначимо зміну його температури за рахунок теплообміну з температурним полем ґрунту, природним температурним полем навколишнього середовища та пові-

трям навколо лічильника, установленого в приміщенні.

Згідно з [3] температура даної точки на земній поверхні в основному залежить від сонячної радіації, теплообміну між атмосферою і поверхнею землі і від випромінювання, яке віддається Землею в навколишній простір.

В роботах [4; 5; 6] на основі функції температури повітря, яка описується рівнянням

$$T_n = T_{cp} + A \cos(\omega\tau - \varepsilon), \quad (1)$$

де T_{cp} , A – кліматичні характеристики для певного регіону; τ – час; ω , ε – параметри закону T_n , подається формула для визначення температури ґрунту, що записується так:

$$T_{cp} = T_{cp} + \Gamma\epsilon \left(\frac{1}{h} + y \right) + \frac{Ah \cdot \exp(-\omega'y) \cos(\omega\tau - \varepsilon - \omega'y - \delta)}{\sqrt{(h + \omega')^2 + \omega'^2}}, \quad (2)$$

$$h = \frac{a_n}{\lambda}, \quad \omega' = \sqrt{\frac{\omega}{2a}}, \quad \delta = \arctg \frac{\omega'}{h + \omega'},$$

$$\tau = (n - 1) \cdot \tau_m,$$

де: a_n – коефіцієнт теплопередачі з поверхні ґрунту в атмосферу; λ – коефіцієнт теплопровідності ґрунту; a – коефіцієнт температуропровідності; $\Gamma\epsilon$ – геотермічний градієнт; y – ордината, направлена до центру Землі; n – номер місяця в році; τ_m – кількість годин в 1 місяці року.

Для району Івано-Франківська в роботі [6] одержано аналітичний вираз для функції T_n . З врахуванням даних Івано-Франківського обласного центру з гідрометеорології за 1961-2000 роки та на основі багаторічних спостережень (1881-1960), які наведені в [7], нами отримано відкориговані середньомісячні температури для району Івано-Франківська, які подані в таблиці 1.

Таблиця 1 – Середньомісячні температури повітря в м. Івано-Франківську

Місяці року	Середні температури, °С
Січень	-4,8
Лютий	-3,2
Березень	1,4
Квітень	7,9
Травень	13,5
Червень	16,7
Липень	18,3
Серпень	17,7
Вересень	13,5
Жовтень	8,1
Листопад	2,3
Грудень	-2,4

На основі даних таблиці знайдемо новий вираз для функції T_n [6].

Якщо температуру повітря, як і в [6], записати у вигляді

$$T_n = T_{cp} + A \cos(\omega\tau - \epsilon) \quad (3)$$

і параметр ϵ прийняти рівним нулеві, то величина A визначатиметься за формулою

$$A = -\frac{T_{лип} - T_{січ}}{2} = -\frac{18,3 - (-4,8)}{2} = -11,55^\circ\text{C},$$

де $T_{лип}$, $T_{січ}$ – температури відповідно липня і січня.

Оскільки відррахунок часу йде від початку січня, то маємо рівняння $T_{січ} = T_{cp} + A$, звідси

$$T_{cp} = T_{січ} - A = -4,8 - (-11,55) = 6,75^\circ\text{C}.$$

Таким чином, формула (3) набуває вигляду

$$T_n = 6,75 - 11,55 \cos \omega\tau. \quad (4)$$

Величина ω знаходиться з рівняння $\omega\tau_p = 2\pi$, τ_p – кількість годин в році.

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau_p} = \frac{2\pi}{365 \cdot 24} = 0,717259 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}.$$

Прийmemo, що в кожному місяці однакова кількість годин $\tau_m = 365 \cdot 24 / 12 = 730$ год. У такому разі формулу (4) можна записати у дещо іншому вигляді

$$T_n = 6,75 - 11,55 \cos(0,717259 \cdot 10^{-3}(n-1)\tau_m). \quad (5)$$

На рис. 3 зображено два графіки. Перший графік – крива середніх температур повітря в Івано-Франківську, побудована за даними багаторічних спостережень, і другий графік – апроксимуюча крива середніх температур, побудована за формулою (4). З рис. 3 видно, що аналітичний вираз (4) досить точно описує зміну середніх температур в Івано-Франківську. Очевидно, що формула (4) може бути використана при дослідженні температурних полів навколо газопроводів.

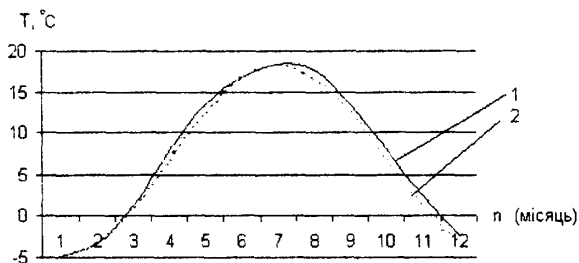


Рисунок 3 – Криві середніх температур повітря в м. Івано-Франківську

Для розрахунку природного температурного поля в ґрунті за формулою (2) використаємо такі вихідні дані [6]: $\alpha_n = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$, $\lambda = 1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$, $T_{cp} = 6,75^\circ\text{C}$, $A = -11,55^\circ\text{C}$, $\omega = 0,717259 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$, $\Gamma_e = 0,04167 \text{ град}/\text{м}$, $a = 0,002 \text{ м}^2/\text{год}$.

Результати розрахунку природного температурного поля ґрунту на глибині 0,8 м, де розміщуються осі газопроводів низького та середнього тиску, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Температури ґрунту на глибині 0,8 м

Місяці року	Температури ґрунту, °C
Січень	-0,54
Лютий	-1,02
Березень	0,59
Квітень	3,87
Травень	7,92
Червень	11,67
Липень	14,12
Серпень	14,6
Вересень	12,98
Жовтень	9,71
Листопад	5,65
Грудень	1,9

Використовуючи архівні дані однієї з ГРПП ВАТ "Івано-Франківськгаз" в с. Микитинці (графіки середньомісячних витрат газу комунально-побутовими споживачами та температур газу, які наведені на рис. 4 та 5), проведемо розрахунок температури в газопроводі з врахуванням природного температурного поля ґрунту на глибині 0,8 м.

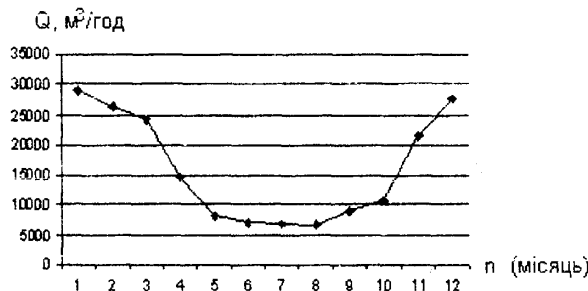


Рисунок 4 – Середньомісячні витрати газу, обліковані на ГРПП в с. Микитинці

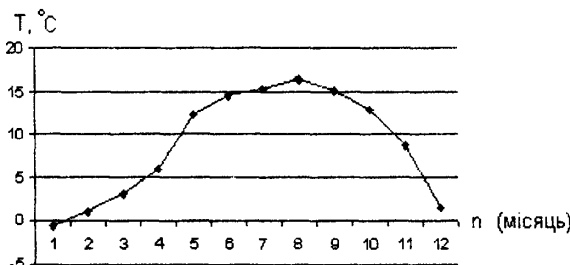


Рисунок 5 – Середньомісячні температури газу на виході з ГРПП в с. Микитинці

Розрахунок температури газу в газопроводі згідно з [4] проводиться за формулою Шухова

$$T_z = T_c + (T_{поч} - T_c) \cdot \exp\left(-\frac{k\pi D_n x}{GC_p}\right), \quad (6)$$

де: T_z – температура газу в певній точці газопроводу; T_c – температура середовища навколо газопроводу (ґрунту – для підземних газопроводів, атмосферного повітря – для надземних газопроводів та повітря в кімнаті – для ділянки газопроводу від входу в опалювальне приміщення до лічильника); $T_{поч}$ – температура газу на початку газопроводу (підземного, надземного, кімнатного); k – коефіцієнт теплопередачі

від газу до середовища навколо газопроводу; D_n – діаметр труби газопроводу; x – відстань від початку до досліджуваної точки газопроводу; C_p – питома теплоємність газу; G – масова витрата газу на досліджуваній ділянці газопроводу.

Для розрахунку температури в газопроводі використаємо такі вихідні дані: $D_n=0,15\text{м}$, $x=7000\text{м}$, $C_p=0,50668$ ккал/кг·°С.

Залежно від способу прокладання газопроводу (підземного, надземного чи кімнатного), його діаметра, значення коефіцієнта теплопередачі k буде різним.

Для випадку прокладання газопроводу під землею значення k залежить від глибини прокладання газопроводу, структури (пісок, глина) та вологості ґрунту. Для ґрунтів даного регіону значення k визначається з графіка (рис. 6), наведеного в роботі [7] і становить 1,25 ккал/м²·год·°С.

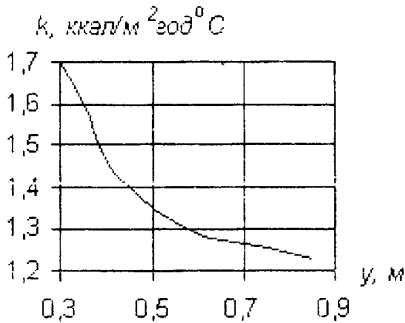


Рисунок 6 – Крива залежності коефіцієнта теплопередачі від глибини прокладання газопроводу

Графіки температур ґрунту та газу на початку і в кінці підземного газопроводу наведені на рис. 7.

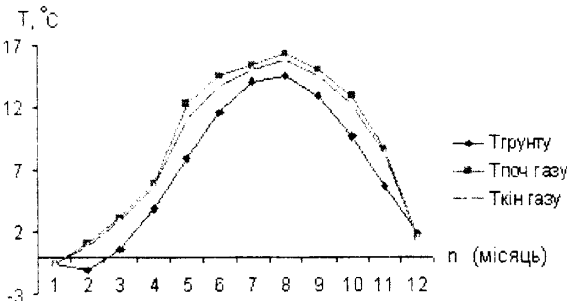


Рисунок 7 – Графік зміни температур ґрунту та газу в кінці підземного газопроводу

На зовнішній поверхні надземного газопроводу одночасно протікають процеси теплообміну випромінюванням, конвекцією і теплопровідністю. На тепловий режим надземного газопроводу суттєво впливає сонячна радіація, швидкість і напрям вітру, температура повітря і ряд параметрів, які залежать від пори року і доби, а також від атмосферних умов.

Коефіцієнт теплопередачі від газу надземного газопроводу до навколишнього середовища визначається за номограмою, наведеною в [8], і для даного регіону становить 70 ккал/м²·год·°С.

Як свідчать результати розрахунків, в надземному газопроводі, підведеному до житлових будинків, температура газу практично досягає температури навколишнього середовища, і газ в будинки поступає з температурою, наведеною в табл. 1.

Розглядаючи лічильник як теплообмінник, температуру на виході з лічильника визначають за формулою, наведеною в роботі [9]

$$T_n = T_c + (T_e - T_c) \cdot \exp\left[-\frac{kF}{\rho C_p Q}\right], \quad (7)$$

де: T_n – температура газу на виході лічильника; T_c – температура середовища (повітря в кімнаті); k – коефіцієнт теплопередачі; ρ – густина газу; C_p – питома теплоємність газу; Q – об'ємна витрата; F – площа поверхні теплообміну в лічильнику.

Для прикладу проведемо розрахунок температури газу на виході з мембранного лічильника типу МКМ G6 виробництва фірми "Premagas", встановленого в опалювальному приміщенні на відстані до 0,5 м від входу газопроводу в приміщення, при різних об'ємних витратах споживання. Для цього використаємо такі вихідні дані: $\rho=0,68$ кг/м³, $C_p=0,50668$ ккал/кг·°С, $F=0,22$ м².

Коефіцієнт теплопередачі k визначимо експериментально, проімітувавши в одній із камер тепла та холоду (КТХ), з якої буде здійснюватися забір повітря, температуру навколишнього середовища, а в іншій КТХ, де встановлений лічильник, температуру повітря в приміщенні (18-22°С). Схема експерименту наведена на рис.8.

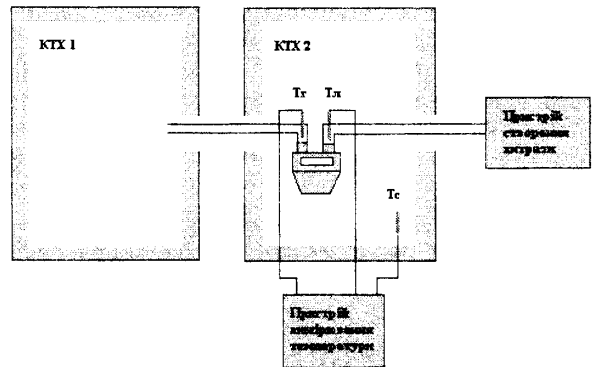


Рисунок 8 – Схема експерименту з визначення коефіцієнта теплопередачі

Підставивши результати експерименту (для повітря) в формулу Шухова, отримаємо коефіцієнти теплопередачі $k=9,24; 6,77; 4,83; 3,55$ ккал/м²·год·°С для витрат $Q=6; 4; 2,5; 1,6$ м³/год відповідно. Підставивши отримані значення коефіцієнтів у формулу (7), отримаємо температури газу на виході із лічильника.

Кінцевий результат розрахунків (температури газу на виході із лічильника типорозміру G6 фірми "Premagas", встановленого у побутового споживача), поданий у вигляді графіків (рис. 9).

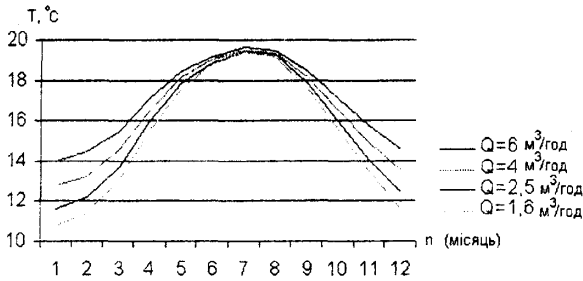


Рисунок 9 – Температури газу на виході з лічильника типорозміру G6 фірми "Premagas"

Аналізуючи результати розрахунків, можна зробити висновок, що різниця температур газу на виході з даного лічильника, установленого в приміщенні, та температурою приведення газу до нормальних умов (20°C), при різних об'ємах споживання, може становити 9 градусів. Враховуючи, що зміна температури газу на 1°C призводить до зміни його об'єму на 0,34%, дійсний об'єм спожитого газу може бути занижений порівняно з показами лічильника на 3,06%.

Таким чином, за відомими об'ємами споживання газу в різних місяцях можна знайти середньозважені річні коефіцієнти для різних об'ємів споживання за формулою (8) і врахувати їх при кінцевих розрахунках за газ.

$$k = 1 + \frac{\sum_{n=1}^{12} (T_{20} - T_n) \cdot 0,34 \cdot Q_n}{\sum_{n=1}^{12} Q_n}, \quad (8)$$

де: T_{20} – температура газу за нормальних умов, T_n – обчислена середньомісячна температура газу, Q_n – середньомісячна витрата газу.

Так, для району Івано-Франківська при щомісячному споживанні, наведеному на рис. 4, для витрат газу $Q=6; 4; 2,5; 1,6$ м³/год, облікованого лічильником типорозміру G6 фірми "Prema-

gaz", ці коефіцієнти становитимуть 1,023378; 1,021209; 1,018187; 1,013909 відповідно.

Для номінальних витрат інших типів лічильників з врахуванням теплообміну газу в газопроводі на ділянці між входом газопроводу в опалювальне приміщення та лічильником автоматично будуть проведені експериментальні та теоретичні дослідження, результати яких будуть наведені в наступній статті.

Література

1. Organization Internationale de Metrologie Legale: International recommendation No. 31 Diaphragm Gas Meters. July 1987.
2. Dr. Béla BÁTŪI. Why to use gas meters with temperature compensation in households? // Збірник статей конференції "METROLOGIE", 3-4 червня 1998р., Чехія.
3. Гутенберг Б. Физика земных недр. – М.: Изд-во иностр. литер., 1963. – 264 с.
4. Карслоу Г. и Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 488 с.
5. Дубина М.М., Красовицкий Б.А. Теплообмен и механика взаимодействия трубопроводов и скважин с грунтами. – Новосибирск: Наука, 1983. – 134 с.
6. Грудз В.Я., Тутко Т.Ф. Природне температурне поле верхніх шарів ґрунту // Матеріали 6^{ої} Міжнародної науково-практичної конференції "Нафта і газ України – 2000": Збірник наукових праць. – Івано-Франківськ, 2000. – Т. 3. – С. 10-14.
7. Природа Івано-Франківської області. За ред. Геренчука К.І. К.: Вища школа, 1973. – 160 с.
8. Ходанович І.Е., Кривошеин Б.Л., Бикчентай Р.Н. Тепловые режимы магистральных газопроводов. – М.: Недра, 1971. – 216 с.
9. Уоинг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.

УДК 539.3

ОХОЛОЖДЕННЯ КІЛЬЦЕВОГО ДИСКА ПІСЛЯ ПОСАДКИ ЙОГО НА ЖОРСТКИЙ ВАЛ

О.Шаблій, Н.Гащун

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя,
46001, Тернопіль, вул.Руська, 56, тел. (0352) 224181, e-mail: inform@u.edu.te.ua

Определены температурные поля и исследовано напряженно-деформированное состояние вязкоупругого кольцевого диска в процессе его охлаждения после посадки на жесткий вал

Для підвищення працездатності газокompресорного обладнання велике значення має оптимально підібраний технологічний процес складання частин швидкохідних роторів – турбінних коліс, лабіринтних ущільнень та інших

Temperature field was found and stress-strain state of the visco-elastic ring disk during its cooling after fitting it on the rigid shaft was investigated.

деталей типу кільцевих дисків. Великі швидкості обертання вказаних елементів створюють в них значні внутрішні напруження та деформації. Застосування шліцевих, шпонкових та різьбових методів з'єднання деталей в цьому випа-